

Mitteilung aus dem Institut für Praktische Mathematik (Professor Dr. A. Walther) der Technischen Hochschule Darmstadt

H.-J. DREYER

## Programmgesteuerte Rechenmaschinen

DK 681.142-83

### 1. Aufgabe und Bedeutung

Bei Rechengern unterscheidet man Ziffern- (Digital-) und Analogrechner. In Analogrechnern werden die Zahlen durch physikalische Größen (Längen, Spannungen, Feldstärken usw.) dargestellt, während die Digitalrechner die Ziffern einer Zahl mit Elementen wiedergeben, die eine begrenzte Anzahl (z. B. 2 oder 10) diskreter Zustände aufweisen. Als programmgesteuerte Rechenmaschinen oder kurz als Rechenautomaten werden hier Fortentwicklungen der gewöhnlichen, ziffernmäßig arbeitenden Rechenmaschinen bezeichnet, bei denen nicht nur die einzelnen Grundrechenoperationen, wie Additionen, Multiplikationen usw., selbsttätig ablaufen, sondern auch die ganze, für eine vollständige Berechnung nötige Folge solcher Grundoperationen, das *Rechenprogramm*. Schon um 1840 hat der Engländer Charles Babbage in bewundernswerter Vorausschau den Wert einer programmgesteuerten Rechenmaschine erkannt und viele Jahre hindurch vergeblich versucht, sie mit den unzulänglichen Mitteln seiner Zeit zu verwirklichen. Um 1944 wurden dann die ersten vollständigen – elektromechanisch oder mit Relais arbeitenden – Rechenautomaten fertiggestellt, in den USA der „ASCO“ von H. H. Aiken und die Relaisrechner der Bell-Laboratorien, in Deutschland der „Z 4“ von K. Zuse. 1946 folgte der „ENIAC“ von Eckert und Mauchly mit rein elektronischen Bauteilen, die eine Rechenzeit unter 1 ms für das Addieren einer 10ziffrigen Zahl ermöglichten.

Seitdem haben die Rechenautomaten eine Bedeutung erlangt, die über den ursprünglichen Zweck des Zahlenrechnens beträchtlich hinausgeht. Sie haben geistige Routinearbeit übernommen, wie sie bei wissenschaftlichen, technischen und kaufmännischen Berechnungen in ermüdender Länge und Wiederholung auftritt. Sie erledigen aber auch das gedankliche Durchspielen aller möglichen oder sinnvollen Kombinationen vorliegender Ausgangsdaten, um Aufbau oder Versorgung eines komplizierten Organisationsgebildes, einer Fabrik, einer Buchhaltung oder einer ganzen Volkswirtschaft zu planen.

Im folgenden werden ihr Aufbau und ihre Arbeitsweise kurz umrissen, um technische Einzelheiten in den Gesamtrahmen dieser großen Schaltungsgebilde einordnen zu können.

### 2. Das Rechenprogramm

Die meisten Arbeiten, die auf üblichen Rechenmaschinen in kaufmännischen, technischen und wissenschaftlichen Rechenbüros ausgeführt werden, sind recht einförmig. Für jede Rechnung liegen gewisse Ausgangsdaten vor, in einer Lohnbuchhaltung beispielsweise die Arbeitsstunden eines Arbeiters, sein Stundenlohn, seine Steuersätze usw. Der Rechner oder die Rechnerin tastet diese Ausgangsdaten in die Rechenmaschine, führt eine Reihe von Rechenoperationen aus, um Stundenzahl mit Stundenlohn zu multiplizieren, Akkord-

zuschläge zu addieren, Abzüge zu subtrahieren, sucht dazu in Zahlentafeln die passenden Steuerbeträge und schreibt schließlich die bedeutungsvollen Teilbeträge und die Endsumme aus der Maschine in eine übersichtliche Liste. Dieses Arbeitsprogramm muß mit geringen Veränderungen für alle Arbeiter immer wieder durchgeführt werden. In ähnlich gleichförmiger Weise errechnen sich die Posten und die Gesamtsumme einer kaufmännischen Rechnung aus Anzahl, Einzelpreis, Rabatt, Verpackungszuschlägen und Skonti, die technischen Daten einer Transformatorwicklung auf Grund der Anforderungen an Leistung, Spannungen und Isolation oder die kritischen Drehzahlen einer großen Turbinenwelle aus Form, Material- und Lageeigenschaften. Sogar manche großen mathematischen Rechnungen, wie das Auflösen partieller Differentialgleichungen zur Wettervorhersage, lassen sich in feste, immer wiederholte Teilrechnungen zerlegen und werden so erst in praktisch verwendbarer Form lösbar.

Vorrichtungen für den automatischen Ablauf solcher gleichförmigen Programme gibt es bei Buchungsmaschinen und bei Lochkartenmaschinen. Sie eignen sich aber wegen der Steuerung durch Schreibwagenbewegung oder durch eine Relaiskette fester Länge nur für die begrenzte Anzahl von Programmabschnitten in üblichen kaufmännischen Berechnungen. Bei Rechenautomaten, die für längere Programme vorgesehen sind, muß der Benutzer die Anzahl und Reihenfolge der Programmschritte ohne nennenswerte Einschränkungen festlegen können. Die Befehle an die Maschine sind deshalb einheitlich aufgebaut und ebenso wie alle Zahlen einzeln abrufbar gespeichert. Jeder Befehl bestimmt eine auszuführende Grundrechenoperation und die zugehörigen „Adressen“. Dies sind die Informationen zum Auffinden derjenigen Speicherstellen, aus denen die Ausgangszahlen für die nächste Operation zu entnehmen sind und wohin das gewonnene Ergebnis abzusetzen ist. Der Benutzer des Rechenautomaten muß die zu bearbeitende Aufgabe in eine Folge solcher Befehle zerlegen. Jedes einmal aufgestellte Rechenprogramm kann dann beliebig oft mit neuen Ausgangszahlen ablaufen.

### 3. Aufbau und Wirkungsweise

#### 3.1 Gesamtanordnung

Die Hauptteile eines Rechenautomaten und ihr Zusammenwirken sind im Schema Abb. 1 dargestellt. Das *Rechenwerk* erledigt alle Operationen an den verarbeiteten Zahlen oder anderen Daten. Dazu gehören nicht nur die Grundrechenoperationen Addieren, Multiplizieren usw., sondern auch das Vergleichen von Zahlen, das „Schiften“ um einige Stellen nach rechts oder links, das Zuordnen verschlüsselter Begriffe nach gegebenen Vorschriften und ähnliche, nicht rein rechnerische Operationen, die entsprechend der Verwendungsart des Rechenautomaten vorgesehen sind. Das *Speicherwerk* enthält in einigen 100

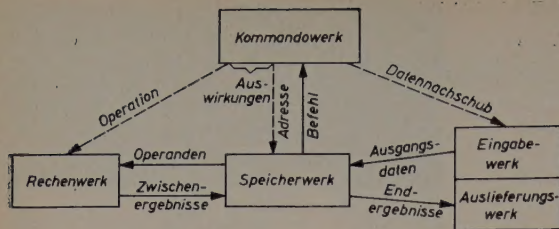


Abb. 1. Wirkungsschema eines Rechenautomaten, — Datenkanäle, --- Steuerkanäle

oder 1000 Speicherzellen alle für eine Rechnung benötigten Zahlenwerte und meist auch getrennt davon die Befehle. Es liefert dem Rechenwerk die Ausgangsrechengrößen (Operanden) für jede Operation und nimmt das gewonnene Ergebnis auf. Das Kommandowerk sorgt für den Ablauf des Rechenprogramms. Es entnimmt dem Speicherwerk nacheinander die Befehle, entschlüsselt sie nach Operationsteil (Information, die der auszuführenden Rechenart entspricht) und Adressteil (Information zum Auffinden der gewünschten Speicherstellen) und läßt sie im Rechenwerk und im Speicherwerk wirksam werden. Eingabe- und Auslieferungswerke stellen die Verbindung des Rechenautomaten zur Außenwelt her. Das Eingabewerk gibt zu Beginn der Rechnung oder auch während des Ablaufs die Ausgangsdaten in das Speicherwerk, das Auslieferungswerk<sup>1)</sup> schreibt die gewonnenen Ergebnisse in Form einer Zahlentafel<sup>2)</sup> oder in ähnlicher Weise nieder.

### 3.2 Zahlendarstellung

Zahlen und Befehle, gemeinsam oft als „Wörter“ bezeichnet, durchlaufen den elektronischen Rechenautomaten als Impulsgruppen mit Impulslängen zwischen 1 und 50  $\mu$ s. Wegen der hohen Anforderungen an die Betriebssicherheit einer Rechenmaschine wird nur das Vorhandensein oder Fehlen eines Impulses ausgenützt, nicht seine Größe oder Länge (Ja-Nein-Arbeitsweise). Dementsprechend sind alle Zahlen nur aus den Ziffern 0 und 1 zusammengesetzt (Abb. 2): Entweder sind die Ziffern 0 bis 9 durch eine Vierergruppe (Tetrade) von Impulsen

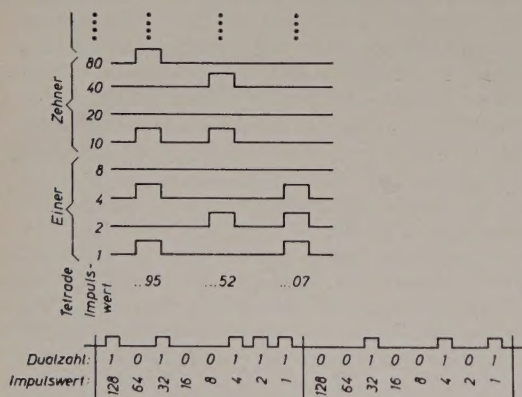


Abb. 2. Impulsdarstellung von Zahlen. Oben: Zahlen 95, 52, 07 in Parallel-Darstellung, Dezimalziffern in 1248-Tetraden verschlüsselt. Unten: Zahlen 167 = 10100111 und 37 = 100101 als Dualzahl in Seriendarstellung

verschlüsselt, oder alle Zahlen werden im Innern des Rechenautomaten im Dual-Zahlensystem geschrieben, das nur die Ziffern 0 und 1 besitzt. Die Umwandlung vom und ins Dezimalsystem erfolgt beim Eingeben und Ausliefern von Zahlen selbsttätig im Rechenwerk.

Die zu einer Zahl gehörigen Ziffernimpulse laufen entweder nacheinander über nur einen Kanal oder gleichzeitig über Vielfachkanäle. Im ersten Fall der Serien-Zahlendarstellung braucht das Rechenwerk nur für eine Ziffer aufgebaut zu sein und ist deshalb besonders einfach, im zweiten Fall der Parallel-Zahlendarstellung hat man den Vorteil extrem kurzer Rechenzeiten bis herab zu 20  $\mu$ s für eine Addition.

<sup>1)</sup> Näheres vgl. Overhoff, G.: Das Drucken der Resultate elektronischer Rechenanlagen. ELEKTRONISCHE RUNDSCHAU Bd. 9 (1955) Nr. 10, S. 360

<sup>2)</sup> Ein Beispiel zeigt Päsler, H.: Die Anwendung des Elektronenrechners „GAMMA 3“ zur Lösung komplizierter mathematischer Probleme. ELEKTRONISCHE RUNDSCHAU Bd. 9 (1955) Nr. 10, S. 362

### 3.3 Schaltkreistechnik

Die Bauteile und ihr Zusammenwirken in Rechen- und Steuerschaltungen sind von der Ja-Nein-Arbeitsweise bestimmt. Grundsaltungen (Abb. 3) sind die *Und-Schaltung*, die an ihrem Ausgang eine Spannung abgibt, wenn an allen ihren Eingängen eine Spannung liegt, sowie die *Oder-Schaltung*, die schon eine Ausgangsspannung zeigt, wenn nur an einem ihrer Eingänge Spannung liegt. Diese Schaltungen und Kombinationen davon werden vielfach aus Germanium-Gleichrichtern und Widerständen aufgebaut, aber auch aus Elektronenröhren mit gemeinsamen Anoden- oder Katodenwiderständen, Glimmröhren, Transistoren oder Magnetspeicherkernen. Kurzzeitige Veränderungen im Schaltkreis werden oft mit der *Flip-Flop-Schaltung* gespeichert. Wo geringere Geschwindigkeit ausreicht oder nicht ver-

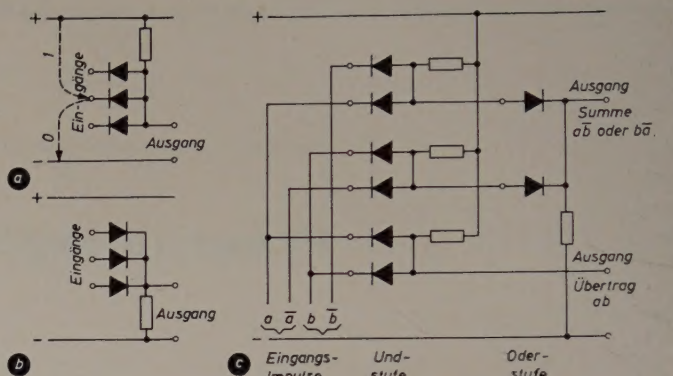


Abb. 3. (a) „Und“-Schaltung, (b) „Oder“-Schaltung für positive Impulsrichtung, (c) Dual-Addierschaltung für 2 Summanden a und b

Aufgabe	a	$\bar{a}$	b	$\bar{b}$	Summe	Übertrag
0 + 0 = 0	0	1	0	1	0	0
0 + 1 = 1	0	1	1	0	1	0
1 + 0 = 1	1	0	0	1	1	0
1 + 1 = 10	1	0	1	0	0	1

mieden werden kann, finden sich auch Relais und elektromagnetisch betätigte mechanische Bauteile, beispielsweise in den aus den Lochkartenmaschinen weiterentwickelten Rechenautomaten (elektronischen Lochkartenmaschinen).

### 3.4 Speicherverfahren

Viele Entwicklungen von Rechenautomaten sind vom Speicherverfahren ausgegangen und durch seine Eigenarten gekennzeichnet. Zwei widersprechende Forderungen sind gegeneinander abzuwägen: 1. das Fassungsvermögen des Speichers soll bei erträglichem Aufwand möglichst groß sein; 2. die Zugriffszeit zur einzelnen Speicherzelle soll möglichst kurz sein. Deshalb ist oft eine Unterteilung vorgenommen in einen kleinen Schnellspeicher mit 50 bis 500 Zellen, die sofort nach Anruf vom Kommandowerk ihren Inhalt abgeben können, und in einen Großspeicher mit einigen 1000 Zellen, bei denen eine gewisse Wartezeit in Kauf genommen wird.

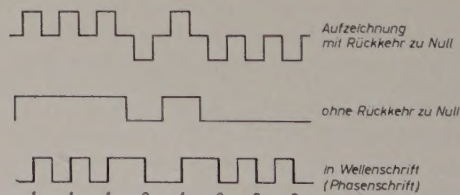


Abb. 4. Impulsaufzeichnung auf Magnettrommel und Magnetband

Für beide Speicherarten haben magnetische Verfahren wachsende Bedeutung. Als Großspeicher dient vielfach die *Magnetspeichertrommel*. Die Impulse werden magnetisch auf den Umfang eines rotierenden Rades (Trommel) niedergeschrieben und beliebig oft wieder abgelesen (Abb. 4). Gebräuchliche Trommeln haben bis zu 5000 Impulse je Umfangslinie (Spur) und bis zu 500 Spuren nebeneinander; so können 50000 Zahlen mit je etwa 15 Dezimalstellen gespeichert werden. Der Zugriff zu einer Zelle dauert bis zu einer Trommelumdrehung, also je nach Trommelgröße 5 bis 50 ms, mithin oft beträchtlich länger als die Rechenzeit. Wo der genannte Speicherraum noch nicht ausreicht, hilft das Magnetband weiter, wie es für Tonaufzeichnungen benutzt

wird. Trotz des Vorhandenseins selbsttätiger Suchvorrichtungen mit hohen Brems- und Beschleunigungskräften erfordert es aber Zugriffszeiten von einigen Sekunden.

Magnetische Schnellspeicher werden aus Kernen mit rechteckiger Hystereseschleife, vorwiegend aus Ferritmaterial, aufgebaut (Abb. 5). Je Impuls muß ein Kern vorhanden sein, der zum Speichern einer 1 in dem positiven, für eine 0 in dem negativen Remanenzpunkt magnetisiert wird. Zum Lesen wird grundsätzlich eine 0 eingeschrieben und an einer Lesewicklung beobachtet, ob dabei eine Induktionsänderung, also eine Spannung, auftritt; das ist nur der Fall, wenn eine 1 gespeichert war. Außer in Verzögerungsstrecken (Laufzeitketten<sup>3</sup>) ist die wichtigste Anordnung solcher Kerne in Matrixform ausgeführt: Die Kerne sitzen auf den Gitterpunkten eines Drahtnetzes (Abb. 5). Zum Magnetisieren eines einzigen Kernes wird auf einen senkrechten und einen waagerechten Draht je ein so starker Stromstoß gegeben, daß nur die vereinigte Wirkung im Kern am Kreuzungspunkt zum Magnetisieren ausreicht. Bei genügend scharfer Hystereseschleife des Kernmaterials ist diese Speicherart sehr sicher.

Andere Speicher arbeiten elektrostatisch. So wird bei der Williamsröhre auf den Schirm einer Katodenstrahlröhre mit dem Elektronenstrahl eine Ladungsverteilung aufgebracht und ständig regeneriert. Auch beim Ultraschallspeicher ist ständiges Regenerieren nötig. Der zu speichernde Impuls wandert als Schallwelle durch ein mit Quecksilber gefülltes Rohr, wird am Ende durch einen Quarz abgegriffen und dem Eingang wieder zugeleitet; die Schalllaufzeit wird zum Speichern benutzt (dynamischer Speicher).

### 3.5 Eingabe und Auslieferung — Datenverarbeitende Maschinen

Die Schwierigkeiten bei Eingabe und Auslieferung liegen in der begrenzten Geschwindigkeit, die mit den hier unvermeidlichen mechanischen Mitteln erreichbar ist. Bei manchen wissenschaftlichen Rechnungen ist das von geringer Bedeutung, weil die Menge einzugebender und auszuliefernder Zahlen im Verhältnis zur Gesamtrechnenzeit nur klein ist. Anders liegt es aber bei kaufmännischen Berechnungen in Wirtschaftsbetrieben, Buchhaltungen, Versicherungen usw., die riesige Mengen Zahlen und anderer Daten zu verarbeiten haben. Dafür fortentwickelte Rechenautomaten mit besonderen Eingabe-, Auslieferungs- und Speichervorrichtungen werden als *datenverarbeitende Maschinen* bezeichnet. So können durch lichtelektrisches Abtasten von Lochbändern und Lochkarten einige 1000 Impulse/s eingegeben werden. Magnetbänder bringen noch mehr Information in die Maschine und hinaus. Dagegen ist das endgültige Niederschreiben der Ergebnisse, das meist in leicht lesbarer Klerschrift erfolgen soll, entweder langsam oder aufwendig. Von großem Nutzen sind hier die Einrichtungen bei Lochkartenmaschinen, mit denen man etwa 100 Ziffern oder Buchstaben gleichzeitig in 0,4 s und kürzer drucken kann.

### 4. Anwendungen

Durch das Aufspalten jeder Rechnung in eine Folge zahlreicher Operationen von nur wenigen Grundtypen ist der Anwendungsbereich eines Rechenautomaten außerordentlich groß. Einschränkungen für die in vernünftiger Zeit erledigbaren Rechnungen rühren von der Rechengeschwindigkeit, dem Speicherraum und den Eingabe- und Auslieferungsvorrichtungen her. Besonders geeignet sind solche Rechnungen, die entweder als Ganzes mit abgewandelten Ausgangswerten immer wieder ablaufen oder bei denen zumindest große Teile des Programms sich als „Unterprogramm“ häufig wiederholen<sup>4</sup>), wie das bei Iterationsprozessen der Fall ist.

Für kaufmännische, wirtschaftliche und statistische Berechnungen mit ziemlich kurzen Programmen kommen je nach der Menge kleine Sonderrechenautomaten, elektronische Lochkartenmaschinen oder datenverarbeitende Maschinen in Frage. Um die hohe Rechengeschwindigkeit auszunützen, ist es zweckmäßig, die gesamte Buchungsorganisation auf die Eigenheiten programmgesteuerter Rechenmaschinen abzustellen, um möglichst lange, in einem Zug erledigbare Rechenprogramme zu schaffen.

Eine wichtige Gruppe wissenschaftlicher und technischer Rechnungen beruht auf dem Lösen von Gleichungssystemen und von Matrizenaufgaben, beispielsweise bei elektrischen Filtern, in der Baustatik, beim Berechnen kritischer Drehzahlen rotierender Gebilde. Auch von Differentialgleichungen her wird man auf Gleichungssysteme geführt, weil die stetigen Operationen des Differenzierens und Integrierens dem digital arbeitenden Rechenautomaten nicht unmittelbar zugänglich sind, sondern durch finite Unterteilung des ganzen Problems auf einfache Subtraktionen und Additionen zurückgeführt werden müssen. Damit sind dann Berechnungen über Bewegungsvorgänge sowie

## Elektronische Rechenmaschinen

Mit Rücksicht auf die große internationale Bedeutung der vom 25. bis 27. Oktober 1955 in Darmstadt stattfindenden Fachtagung „Elektronische Rechenmaschinen und Informationsverarbeitung“ enthält das vorliegende Heft der ELEKTRONISCHEN RUNDSCHAU ausschließlich Beiträge zu diesem Themenkreis der modernen Elektronik.

mechanische, elektrische und magnetische Feldverteilungen möglich, die weite Teile der gesamten klassischen Physik und ihre technischen Anwendungen umfassen. Neben Einzelbeispielen, wie Elektronen-, Geschoß- und Lichtstrahlbahnen, Antennenfeldverteilung, Wärmeübergang in stark erhitzten chemischen Behältern, sei besonders die Wettervorhersage genannt, weil hier die Notwendigkeit des schnellen Lösens umfangreicher Rechnungen besonders gut einleuchtet. Man kennt die Gleichungen, die wesentliche Vorgänge in der gesamten Luftmasse über der für unser Wettergeschehen wichtigen nördlichen Erdhalbkugel beschreiben. Man kennt aus den Beobachtungen der zahlreichen über diese Erdhälfte verteilten meteorologischen Stationen die Anfangswerte für Luftdruck, Temperatur usw., mit denen man von irgendeinem Zeitpunkt aus die voraussichtlichen Veränderungen in dieser Luftmasse berechnen kann. Aber wenn man das Ergebnis einer solchen Berechnung noch in Zeiträumen erhalten will, die für eine Wettervorhersage brauchbar sind, also in 1 bis 2 Stunden, dann muß man die schnellsten heute herstellbaren Rechenautomaten mit Parallelzahlendarstellung<sup>5</sup>) und großem Schnellspeicher einsetzen. Mehrere große Anlagen sind eigens gebaut worden, um diese für die gesamte Volkswirtschaft, insbesondere für Landwirtschaft, Flug- und Schiffsverkehr wichtige Aufgabe in Angriff zu nehmen und möglichst bald mit ausreichender Genauigkeit zu lösen.

Sehr weitreichende Anwendungsmöglichkeiten der Elektronenrechner ergeben sich auf dem Gebiet automatisierter Fertigungsvorgänge. Hier werden die selbsttätige Innehaltung von Betriebsabläufen optimaler Wirtschaftlichkeit und die Steuerung ständig wiederkehrender komplizierter Maschinenoperationen durch laufende regelnde Rechenoperationen in einem Ausmaß ermöglicht, wie es bei Anwendung menschlicher Rechenarbeit niemals erreichbar wäre.

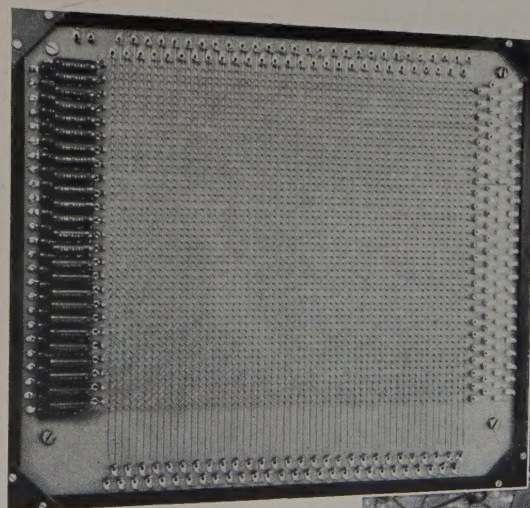


Abb. 5. Speichermatrizenrahmen und vergrößerter Ausschnitt daraus

<sup>3</sup>) Näheres vgl. Billing, H., und Hopmann, W.: Mikroprogramm-Steuerwerk. ELEKTRONISCHE RUNDSCHAU Bd. 9 (1955) Nr. 10, S. 349

<sup>4</sup>) Carroll, J. M.: Electronic Computers for the Businessman. Electronics Bd. 28 (1955) Nr. 6, S. 122—131 (mit ausführlicher Bibliografie)

<sup>5</sup>) Näheres hierzu vgl. Proebster, W.: Das Paralleladdierwerk der PERM. ELEKTRONISCHE RUNDSCHAU Bd. 9 (1955) Nr. 10, S. 353

# Von der Lochkarten-Rechenmaschine

In der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts wurde zunächst die elektromechanische Rechenmaschine in Verbindung mit der Lochkarte zu einer gewissen Vollkommenheit entwickelt. Solche Rechenmaschinen benutzen vorwiegend 10stellige Kontakt-Systeme oder Zählräder als Rechenelemente. Seit etwa einem Jahrzehnt werden hier elektronische Rechenelemente eingebaut, wobei die Rechenzeiten auf den tausendsten Teil verkürzt wurden und somit die Anzahl der ausführbaren Programmschritte pro Lochkarte wesentlich erhöht werden konnte. Da die meisten elektronischen Speicherelemente nur 2 Zustände speichern können [1], wurden Ziffern-Kodes entwickelt, so daß bei Anwendung des sogenannten dual-verschlüsselten Dezimalsystems 4 Flip-Flop-Stufen (z. B. 1—2—4—8) zur Speicherung einer dezimalen Ziffer ausreichen. Von dieser Möglichkeit macht das Rechengesetz Type „604“ der IBM weitgehend Gebrauch. Zwar ist die Verwendung elektronischer Schaltelemente teurer als die Verwendung von Zählrädern, man erreicht aber eine so große Steigerung der Rechengeschwindigkeit, daß die höheren Kosten kompensiert werden. Bei dieser Maschine erfolgt die Programmierung mit Hilfe von sogenannten Schalttafeln [1], die durch Schaltschnüre die einzelnen elektronischen Steuerelemente in der gewünschten Reihenfolge zum Ansprechen bringen. Die in der Maschine enthaltene Programmschritt-Abschaltungseinrichtung, die abhängig von Null oder Nicht-Null, Plus- oder Minus-Saldo der Zwischenergebnisse gesteuert wird, ermöglicht bereits neben dem Rechnen logische Entscheidungen. Unter logischen Entscheidungen versteht man eine Änderung des Programmablaufs, die von einem bestimmten Zwischenergebnis abhängig gemacht wird. Ein einfaches kaufmännisches Beispiel stellt die unterschiedliche Zinsen-Berechnung bei Plus- oder Minus-Saldo des zu führenden Kontos dar. In diesem Fall wird nach Errechnen des Saldos eine Salden-Prüfung gemacht, wobei eine Steuerspannung „Gangabschaltung bei Minus“ oder eine Steuerspannung „Gangabschaltung bei Plus“ erzeugt wird. Diese Steuerspannungen sind auf Buchsen der Schaltplatte geführt, und man unterdrückt durch die Schalttafel-Verdrahtung die für den betreffenden Fall nicht zutreffenden Programmgänge. Ein bekanntes Beispiel aus der Technik ist das Abrechnen der Rechnung bei Reihen-Entwicklungen nach Erreichen einer bestimmten Genauigkeit. Hierbei subtrahiert man das nach der  $(n+1)$ -ten Iteration erzielte Ergebnis von dem Ergebnis der  $n$ -ten Iteration und programmiert eine Null-Prüfung unter Berücksichtigung der gewünschten Genauigkeit (Stellenzahl hinter dem Komma), wobei dann bei Nicht-Null eine weitere Iterationsfolge abläuft oder

bei Null der Berechnungsgang abgeschlossen wird und auf das weitere Programm übergegangen wird. Infolge der begrenzten Programmschrittzahl bei der Steuerung durch Schaltplatten konnte von dieser Entscheidungsmöglichkeit nur in einem Umfang Gebrauch gemacht werden, wie er für viele heute notwendige Arbeiten nicht mehr ausreicht.

Seit etwa 3 Jahren zeichnet sich nun eine Entwicklung ab, in deren Verlauf Maschinen entstehen, die nicht nur rechnen können, sondern neben dem „rechnen“ auch in großem Umfang „entscheiden“.

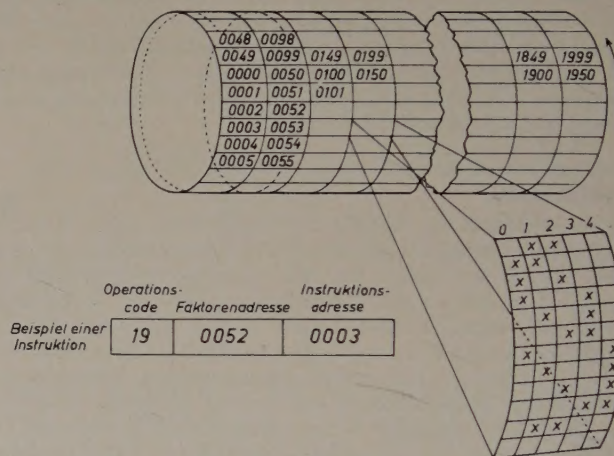


Abb. 2. Schematische Darstellung der Magnettrommel. Die Zahlen auf der Trommel stellen die Adressen dar. Jedes 10stellige Wort benötigt 5 parallele Linien mit 11 Ja-bits (10 Ziffern + Vorzeichenstelle) in jeweils 2 Linien

Typische Vertreter dieser neuen Maschinen sind die EDPM-Anlagen der IBM, die in hohem Maß die Möglichkeit logischer Entscheidungen bieten [2]. Außer der IBM (*International Business Machines Corporation*) beschäftigen sich noch eine Reihe anderer Firmen und vor allem Hochschul-Institute mit den Möglichkeiten elektronischer Informationsverarbeitung; die folgenden Ausführungen beziehen sich nur auf IBM-Anlagen. Die in den USA bereits ein Begriff gewordene Abkürzung „EDPM“ (*Electronic Data Processing Machine*) bedeutet in wörtlicher Übersetzung „Elektronische Informations-Verarbeitungs-Maschine“ (verarbeiten mehr im Sinne von veredeln gemeint). Im April 1953 wurde die erste von der IBM serienmäßig gefertigte EDPM-Anlage „701“ in Betrieb genommen [3]. Die „701“ wurde vorwiegend für wissenschaftliche Anwendung gebaut, und bald wurde eine weitere EDPM-Anlage, die Type „702“, hergestellt, die hauptsächlich für kaufmännische Verwendung gedacht ist. Es ist jedoch möglich, beide Maschinen für kaufmännische und wissenschaftliche Aufgaben einzusetzen. In Kürze wird die „704“-Anlage für wissenschaftliche Aufgaben und die „705“-Anlage für kaufmännische Anwendungen geliefert. Diese beiden Typen arbeiten noch schneller als die zuerst konstruierten „701“- und „702“-Anlagen.

Neben der „700“-er-Reihe wurde der Magnettrommel-Rechner „650“ konstruiert, der ebenfalls zur EDPM-Reihe gehört und kleiner als die Anlagen der „700“-er-Serie ist. In ihrer Grundausrüstung arbeitet diese Maschine mit Lochkarten-Ein- und -Ausgabe und steht daher in der Mitte zwischen den bisher verwendeten reinen Lochkarten-Maschinen und den EDPM-Anlagen. Die Type „650“ besteht aus 3 Einzelaggregaten: Der Karten-, Abfühl- und Stanz-Einheit, Type „533“, dem Netzgerät, Type „655“, und der Informationswandler-Einheit, Type „650“ (zum Rechnen und Entscheiden). Diese Maschinen werden in Abb. 1 gezeigt. Das Herz der ganzen Anlage ist die Magnettrommel. Die Magnettrommel rotiert mit 12500 Umdrehungen pro Minute, hat einen Durchmesser von 10 cm und eine Länge von

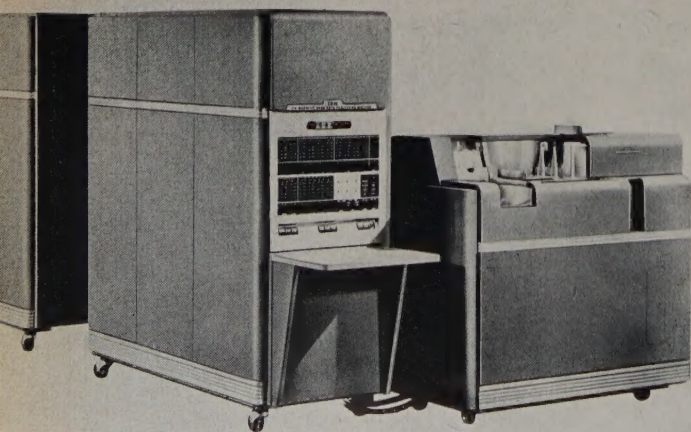


Abb. 1. EDPM-Magnettrommel-Gerät Type „650“ der IBM. Rechts: Lochkarten-, Abfühl- und Stanz-Einheit „533“, in der Mitte: Informationswandler-Einheit „650“ mit Kontrollkonsole, links: Netzgerät „655“

DK 681.177.63:681.142-83

40 cm. 213 gedächte Linien auf dem Umfang enthalten je 600 magnetisierbare Punkte (Punktabstand etwa 0,5 mm), die in beiden magnetischen Richtungen bleibend magnetisiert werden können. Die Umpolung der einzelnen Punkte (bits) geschieht beim Schreibvorgang mit Hilfe eines Magnetkopfes pro Umfangslineie, der den betreffenden Punkt der Oberflächenmagnetschicht der Trommel sehr stark in das Sättigungsgebiet magnetisiert. Der Magnetkopf besteht aus einem lamellierten Permalloy-Kern, auf dem Schreib- und Abführl-Spule aufgebracht sind. Dezimale Ziffern werden mit Hilfe des „Zwei von fünf“-Kodes (0—1—2—3—6) (Abb. 2) in parallelen Ja-Nein-Werten dargestellt, so daß 5 nebeneinanderliegende Linien für jede Ziffer gleichzeitig abgefühlt werden müssen [6]. Die Zahlenwerte sind in 10stelligen Wörtern mit Vorzeichen (Vorzeichen durch 11. Ziffernstelle dargestellt) zusammengefaßt. Die Magnettrommel speichert diese 10stelligen Wörter in Serie für die Ziffern und parallel für die „bits“. Da 200 Linien auf der Trommel für den Hauptspeicher verwendet werden, können 2000 je 10stellige Worte einschließlich der Vorzeichen und der notwendigen Kontroll-„bits“ (Abstandsmarkierung zwischen 2 Worten) untergebracht werden. Diese 2000 Worte sind durch 4stellige Adressen von 0000 bis 1999 gekennzeichnet. Die Magnettrommel zeichnet sich dadurch aus, daß nicht nur die Rechenfaktoren auf ihr gespeichert sind, sondern daß außerdem auch die Befehle für die einzelnen Programmschritte in Form von Ziffern gespeichert werden. Diese Instruktion enthält 10 Ziffern, die sich wie folgt verteilen: 2 Ziffern für die Operation, 4 Ziffern für die Adresse des Rechenfaktors, 4 Ziffern für die Adresse des nächsten Befehls. Diese 4stellige Instruktions-Adresse kennzeichnet den Speicherort der nächsten Instruktion (die 10stellig ist), die die Maschine automatisch aufsucht. Ein Beispiel für diese Programmspeicherung wird in Abb. 3 dargestellt. Von grundsätzlicher Bedeutung sind nun die sogenannten Entscheidungs-Befehle, die an die Stelle der Gangabschaltungsmöglichkeit bei den schalttafelprogrammierten Rechenmaschinen treten. Ein Beispiel sei hier erwähnt: „Verzweige bei Minus“: 46/0123/1485. 46 ist die Operations-Verschlüsselung für diesen Verzweigungsbefehl und löst eine

1. Befehl im Kontrollkonsol:	70	0051	0001	Wert A aus Karte in Speicherplatz 0051 und Wert B in 0052. Finde den nächsten Befehl in Adresse 0001
2. Befehl in 0001:	65	0051	0002	Lösche den Akkumulator und addiere den Wert aus Adresse 0051 (A). Nächster Befehl in Adresse 0002
3. Befehl in 0002:	15	0052	0003	Addiere den Wert aus Adresse 0052 (B) in den Akkumulator. Nächster Befehl in Adresse 0003
4. Befehl in 0003:	20	0077	0004	Speichere den Wert aus dem Akkumulator (C) in der Trommeladresse 0077. Nächster Befehl: 0004
5. Befehl in 0004:	71	0077	8000	Stanze den Wert aus Adresse 0077 in die Lochkarte und finde den nächsten Befehl in 8000 (Adresse des Kontrollkonsols)

### Tab. I. Beispiel für die Programmspeicherung

Saldenprüfung aus, 0123 ist die Adresse für die nächste Instruktion bei Minus-Saldo, und 1485 ist die nächste Instruktions-Adresse bei Plus-Saldo. Die 5. bis 8. Stelle einer Verzweigungs-Instruktion bedeutet nun nicht mehr wie bei gewöhnlichen Instruktionen die Adresse eines Rechenwertes, sondern gibt den Verzweigungsweg für die Weiterprogrammierung bei entsprechender Entscheidung an. Weitere Verzweigungsbefehle sind: „Verzweige bei Nicht-Null“ und „Verzweige bei 8 in der 1. (oder 2. ... 9., 10.) Stelle des Verteilers“. Eine weitere Programmbeeinflussung ist durch Rechenoperationen mit Befehlen möglich. So können z. B. die Informationsadressen durch Addition eines konstanten Faktors geändert werden. Die 2000 Wortstellen, die durch 4stellige Adressen bezeichnet sind und eine Kapazität von 20000 Ziffern haben, werden entsprechend der Aufgabenstellung in jeweils unterschiedlicher Teilung für Instruktionen und Rechenfaktoren vorgesehen. Infolge der großen Speicherkapazität können bereits bei einem Durchlauf des Lochkartensatzes alle Gruppenbegriffe addiert werden (bei Lohnberechnung z. B.: Lohnkosten je Auftrag, Lohnkosten je Abteilung, Gesamt-Steuerbetrag des Betriebs usw.), so daß das bisher in der Lochkarten-Technik übliche Sortieren in vielen Fällen eingespart wird. Abb. 3 zeigt ein vereinfachtes Schaltschaltbild der Maschine, aus dem der Informationslauf ersichtlich ist. Jeder Programmschritt besteht aus 2 Teilen: 1. Teil — Auswahl der nächsten Instruktion von der Trommel (hierbei steht die Instruktions-Adresse im Adressenregister); 2. Teil — Auswahl des Rechenfaktors von der Trommel und Durchführung des Rechenbefehls (hierbei steht die Faktoren-Adresse im Adressenregister).

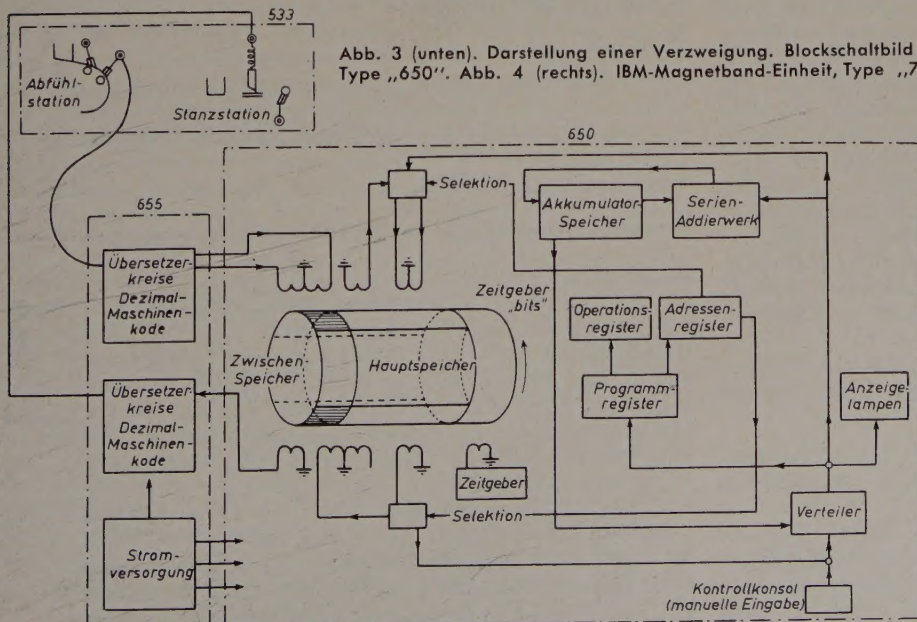
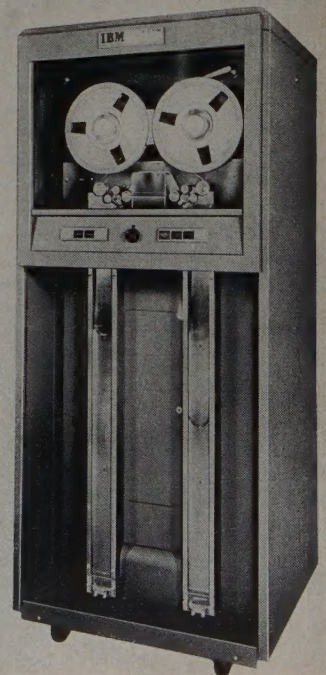


Abb. 3 (unten). Darstellung einer Verzweigung. Blockschaltbild der Type „650“. Abb. 4 (rechts). IBM-Magnetband-Einheit, Type „727“





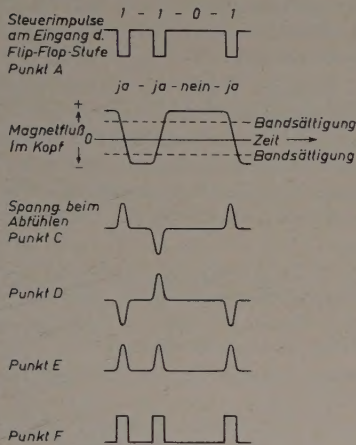
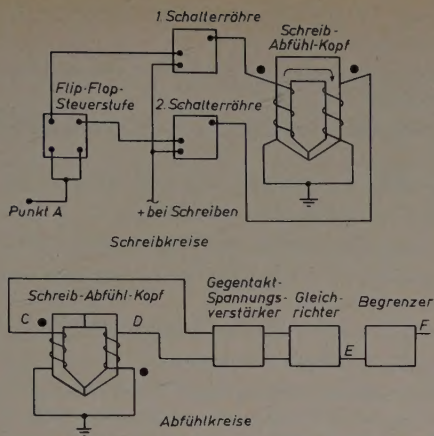


Abb. 6. Darstellung der Vorgänge beim Schreiben und Abfühlen des Magnetbandes mittels „Nicht-auf-Null“-Methode (nach H.W. Nordyke)

gangs-Impulses (Null = kein Eingangs-Impuls = keine Umtastung) fließt der Strom durch die andere Spulenhälfte und erzeugt einen entgegengesetzten Kraftfluß. Der Strom durch die Schaltteröhre beträgt 10 mA und erzeugt in der Magnetkopf-Spule eine Feldstärke von 4,3 Aw. Diese Feldstärke reicht mit Sicherheit aus, um das Magnetband zu sättigen. Die Induktivität der Magnetkopf-Spule beträgt 20 mH, gemessen bei 1 kHz. Es ist ersichtlich, daß bei dieser Methode eine gute Konstanz der magnetischen Bandoberfläche verlangt werden muß, da Unsauberkeiten im Band Kraftflußänderungen vortäuschen könnten. Jedes gelieferte Magnetband muß daher vor Verwendung in einer EDPM-Anlage mit einer Prüfpulsfolge beschrieben und oszillografisch mit einem speziellen Prüfmagnetband verglichen werden. Für jede Rechen- oder Entscheidungsaufgabe wird eine unterschiedliche Informationsmenge benötigt. Nach Abfühlen dieser Werte muß der Magnetband-Transport bis zur Beendigung der Aufgabe angehalten werden. Die Genauigkeit der mechanischen Ausführung der Band-Start-Stopp-Einrichtung muß ganz besonders groß sein, um den Zwischenraum auf dem Magnetband möglichst klein zu halten. Die normale Transportgeschwindigkeit des Bandes für die Eingabe von Zahlenwerten beträgt 1,9 m/s. Da es gelungen ist, das Anhalten und Starten jeweils in kürzerer Zeit als 5 ms durchzuführen, beträgt der Zwischenraum 19 mm zwischen den einzelnen Informationsgruppen.

In Abb. 4 sind unterhalb der Führungsrollen links und rechts vom Magnetkopf die langen, luftleeren Saugspalten zu erkennen, die zur Pufferung zwischen Band- und Rollenantrieb dienen. Diese Mechanik ist notwendig, um das häufige Starten und Stoppen des Bandantriebes präzise ausführen zu können. Die Vakuumsäulen entsprechen in ihrer Breite gerade der Magnetbandbreite. Am unteren Ende sorgt eine Vakuum-Pumpe dafür, daß der luftleere Raum unterhalb des Magnetbandes aufrechterhalten wird. Kontrollschalter überprüfen ständig die Länge des Magnetbandes und beschleunigen bzw. verlangsamen jeweils den Antrieb der Aufspul- bzw. Abspulrollen. Zwischen den beiden Rollensätzen des Bandantriebes befinden sich die völlig gekapselten Magnetköpfe. Das Gehäuse besteht aus 2 Mu-Metallwänden und einer dazwischenliegenden Kupferwand, damit magnetische und elektrische Felder gleichzeitig abgeschirmt werden.

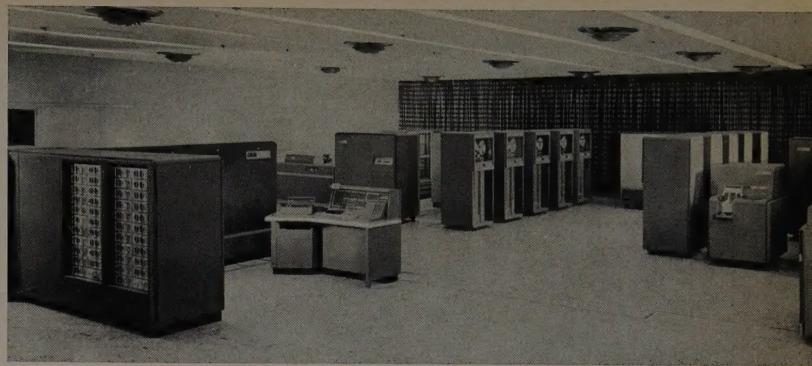


Abb. 7. „705“-EDPM-Anlage der IBM

Vergleicht man die Speicherkapazität und die Geschwindigkeit von Magnetband und Lochkarte, so ergibt sich, daß in einem Band bis zu 5 600 000 Einzelziffern oder -buchstaben gespeichert werden können, so daß ein voll beschriebenes Magnetband die Speicherkapazität von 60 000 Lochkarten besitzt (Raumbedarf der Lochkarten 0,15 m³). Die Eingabegeschwindigkeit des Magnetbandes ist zwischen 50- bis 100mal schneller als die der Lochkarten. Die Investitionen, die man infolge der teuren Umwandlungsmaschinen, die zusätzlich bei der Magnetband-Steuerung benötigt werden, aufbringen muß, werden sich überall dort lohnen, wo eine große Menge von Datenmaterial anfällt.

Abb. 7 zeigt das Foto einer „705“-Anlage, Abb. 8 das Blockschaftbild einer solchen Anlage. Wie aus diesen beiden Abbildungen zu erkennen ist, kann eine ganze Reihe von Magnetband-Einheiten angeschlossen werden. Für insgesamt 10 Magnetband-Einheiten wird eine Magnetband-Steereinheit benötigt. 5 Magnetband-Einheiten dienen zur Eingabe von Faktoren und 5 weitere zur Aufnahme der Ergebnisse. Jede Magnetband-Einheit besitzt einen besonderen Anrufr-Kode, so daß von der zentralen Daten-Verarbeitungs-Einheit her mit Hilfe der Programmsteuerung in beliebiger Reihenfolge verschiedene Magnetband-Einheiten zur Abgabe oder zur Aufnahme aufgerufen werden können. Mehr als 10 Magnetband-Einheiten in der gleichen „705“-Anlage benötigen wieder eine besondere Steuer-Einheit für immer 10 Bandoeinheiten. Außer der Magnetband-Eingabe kann die Lochkarte als Eingabe-Element verwendet werden. Außerdem sind ma-

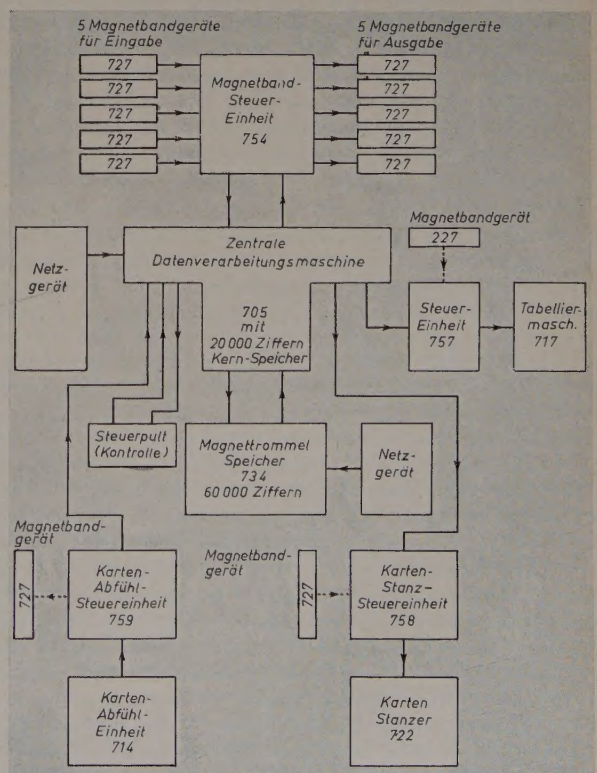


Abb. 8. Blockschaftbild einer „705“-EDPM-Anlage

nuelle Eingaben mit Hilfe des Steuerpultes möglich, das in Abb. 9 allein gezeigt wird. Die gesamte EDPM-Anlage kann mit Hilfe dieses Steuerpultes überwacht werden. Es können jederzeit alle gewünschten Speicherstellen auf den Kontroll-Lampen ihre Speicherwerte anzeigen, oder neue Werte können als zusätzliche Faktoren und Instruktionen mittels der Schreibmaschine des Steuerpultes in die Maschine eingegeben werden. Die Ergebnisse können in Lochkarten gelocht, in Tabellier-Maschinen oder Magnetband-Einheiten geschrieben werden.

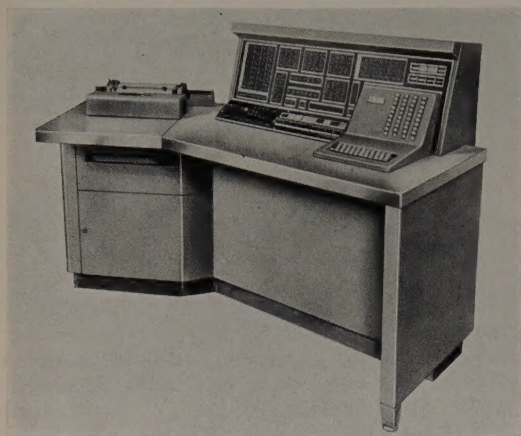


Abb. 9. Steuerpult der „705“-EDPM-Anlage

Die zentrale Daten-Verarbeitungs-Einheit enthält wie die Type „650“ Stromkreise zur Entschlüsselung der gespeicherten Befehle. Es können in Magnetkern-Speichern bis zu 20 000 Einzelziffern gespeichert werden, die sich auf das Programm und die Faktoren verteilen. Die Rechenkapazität einer „705“-Anlage ist größer als diejenige der Type „650“. Mehrere Magnettrommel-Einheiten können zusätzlich angekoppelt werden. Jede Einheit bietet Platz für 60 000 Einzelziffern. Auf diese Weise kann eine sehr große Ziffernkapazität erreicht werden, die insbesondere für das Speichern von Tabellen, Lagerbeständen usw. wichtig ist. Um die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen, können Umwandlungsarbeiten Lochkarte—Magnetband, Magnetband—Lochkarte und Magnetband—Tabelliermaschine getrennt von der zentralen Daten-Verarbeitungs-Einheit ausgeführt werden. Gerade durch den Aufbau einer EDPM-Anlage aus vielen Einzel-Maschinen kann durch die verschiedensten Variationen allen Bedarfsfällen Rechnung getragen werden. Die in Abb. 8 dargestellte Zusammenstellung einer großen EDPM-Anlage ist daher nur als Beispiel zu werten. Es ist nicht möglich, die technischen Einzelheiten einer EDPM-Anlage im Rahmen eines Übersichtsaufsatzes zu beschreiben, doch wird die Schilderung ausreichen, um zu zeigen, welche Aufgaben die einzelnen Zweige der Elektronik bei einer EDPM-Anlage übernehmen.

Abschließend sei noch etwas über die Anwendungsmöglichkeiten der EDPM-Anlagen gesagt. Infolge der laufenden Vergrößerung vieler Betriebe und Verwaltungen ist es praktisch unmöglich geworden, alle Faktoren, die für die Entscheidungen notwendig sind, zu übersehen. Alle Dispositionen gehen aus einer großen Menge von Einzel-Angaben hervor, die kurzfristig zusammengetragen und ausgewertet werden müssen. Je kurzfristiger Planungen und Entscheidungen getroffen werden müssen, um so unzulänglicher werden die normalen technischen Büro-Hilfsmittel. Bisher wurden daher in vielen Fällen Entscheidungen gefällt, die auf Vermutungen beruhen. In der Zukunft wird es möglich sein, diese Vermutungen durch konkrete Angaben zu ersetzen. Hierbei ist es nicht nur möglich, die Planung und Disposition in kurzer Zeit zu erledigen, sondern die EDPM-Anlage gestattet es auch, die Ausführung des einmal vorgenommenen Planes zu überwachen und entsprechende Abweichungen anzuzeigen. Die Vielseitigkeit der zentralen Daten-Verarbeitungs-Maschine gestattet es außerdem, komplizierte wissenschaftliche, technische und kaufmännische Berechnungen auszuführen. So ist es zum Beispiel möglich, die Lohnabrechnung für 10 000 Arbeiter und Angestellte in 30 Minuten auszuführen [2], wobei allerdings noch nicht der Zeitaufwand für das Schreiben der Lohn- und Gehaltsliste (mit Hilfe von Magnetband-Einheit — Schreibsteuer-Einheit — Tabelliermaschine) berücksichtigt ist und die Eingabe mittels Magnetbands erfolgen muß.

Eine EDPM-Anlage ist gegenüber einer gewöhnlichen Lochkarten-Maschine technisch gekennzeichnet

- durch die Verwendung eines gespeicherten Programms an Stelle der Schalttafel,
- durch sehr schnell arbeitende Rechen- und Entscheidungs-Stromkreise,
- durch umfangreiche Speichermöglichkeiten (Magnettrommel, Magnetkern-Speicher, Katodenstrahlspeicher),
- durch Verwendung der Magnetband-Eingabe neben der Lochkarte,
- durch die Möglichkeit der Tabellen-Speicherung und des automatischen Tabellenlesens,
- durch automatisch arbeitende und elektronisch gesteuerte Prüfstromkreise für jede Rechenoperation.

Die Unterschiede in der Anwendung einer EDPM-Anlage sind gegenüber den bisher bekannten Lochkartenmaschinen sehr beachtlich. Vor allem erschließen die EDPM-Anlagen viele neue, bisher nicht gehabte Möglichkeiten für Betriebsorganisation, Wirtschaft, Wissenschaft und Technik, die so vielseitig sind, daß ihre Beschreibung in einem späteren Aufsatz erfolgen soll.

Zahlreiche Elektronik-Ingenieure haben in Zusammenarbeit mit vielen Mathematikern, Organisatoren und Programmierungs-Spezialisten diese Anlagen geschaffen. Es ist bekannt, daß in den USA die Technik der elektronischen Daten-Verarbeitung in kurzer Zeit eine große Bedeutung gewonnen hat. Man kann annehmen, daß auch in Deutschland eine vergleichbare Entwicklung einsetzen wird.

#### Schrifttum

- [1] Schröter, O.: Die Bedeutung der Elektronik für die Rechenmaschinen-Technik. ELEKTRONISCHE RUNDSCHAU Bd. 9 (1955) Nr. 5, S. 173
- [2] Woitschach, M.: Können Maschinen denken? Elektronisch Rechnen und Entscheiden. IBM-Nachrichten Nr. 123, Juli 1955, S. 216
- [3] Frizzell, G. E.: Engineering Description of the IBM Type 701 Computer. Proc. IRE Bd. 41 (1953) S. 1275
- [4] Buslik, W. S.: IBM Magnetic Tape Reader and Recorder. Joint AIEE-IRE-ACM Computer Conference, März 1953, S. 86 (Special Edition)
- [5] Nordyke, H. W. Jr.: Magnetic Tape Recording, Techniques and Performance. Joint AIEE-IRE-ACM Computer Conference, März 1953, S. 90 (Special Edition)
- [6] ● Richards, R. K.: Arithmetic Operations in Digital Computers. New York 1955, D. van Nostrand Comp., Inc.
- [7] Bühler, W.: Anforderungen an Germaniumdioden für elektronische Rechenmaschinen. ELEKTRONISCHE RUNDSCHAU Bd. 9 (1955) Nr. 10, S. 381

## FUNK-TECHNIK

RADIO · FERNSEHEN · ELEKTRONIK

**bringt in den Oktoberheften u. a. folgende Beiträge:**

### 1. Oktoberheft 1955 (Nr. 19)

- Tagungen am Rande einer großen Ausstellung
- Beispiele aus der Schaltungstechnik der neuen Fernsehempfänger
- Rundfunk auf der Leipziger Mustermesse
- Mehrkanalnetze im öffentlichen beweglichen Landfunk
- Heim-Magnetongeräte
- Ein Doppelsuper für die Amateurbänder

### 2. Oktoberheft 1955 (Nr. 20)

- Entwicklungsstand der Phonogeräte
- ... und das heutige Angebot an Phonogeräten
- Vergleich der Transistor- und Röhrenkennlinien
- 15-W-Mischpultverstärker mit UKW „DIWEFON 15/55“
- Röhrenentzerrer für Schallplatten
- KW-Vorsatzsuper „KV I“ mit Drucktasten
- Automatische Fernseh-Umlenkantenne

Von Sendern und Frequenzen • Kurznachrichten • Zeitschriftendienst  
Beilagen: Automatische Verstärkungsregelung im Fernsehempfänger • Die getastete Regelung im Fernsehempfänger • Mikrowellenelemente (Hohlrohrtechnik) • Prüf- und Meßgeräte • Prüfen und Messen

VERLAG FÜR RADIO-FOTO-KINOTECHNIK GMBH · Berlin-Borsigwalde

# Mikroprogramm - Steuerwerk

DK 681.142-83.001.1:621.385

## 1. Was ist Mikro-Programmierung?

Für die Steuerung elektronischer Rechenmaschinen wurden in den letzten Jahren unter der Bezeichnung „Mikroprogrammierung“ neue Verfahren entwickelt, die auch auf anderen Gebieten Anwendung finden könnten. Diese Verfahren werden dort von Interesse sein, wo es möglich ist, die Ausführung einer Reihe komplizierterer Operationen dadurch zu steuern, daß man jede dieser sogenannten Makro-Operationen aufbaut aus einer zeitlichen Folge ganz einfacher Operationen, sogenannter Mikro-Operationen. Die einzelne Mikro-Operation kann dabei in verschiedenen Makro-Operationen Verwendung finden.

Bei der Steuerung elektronischer Rechenmaschinen liegt folgende Aufgabenstellung vor: Jeder Rechengang muß vom vorbereitenden Mathematiker zunächst in diejenigen Grundoperationen zerlegt werden, für deren direkte Ausführung die Maschine gebaut ist. Solche Grundoperationen sind z. B. von der Form: „Multipliziere die Zahl im Resultatregister mit der Zahl im Speicher Nr.  $N$  und bringe das errechnete Produkt wieder in das Resultatregister.“ Die technisch oft recht komplizierte Ausführung dieser Grundoperationen (Makro-Operationen) wird vom Steuerwerk der Rechenmaschine gesteuert.

Die Ausführung der Grundoperationen wird durch Rechenbefehle angestoßen, die sinngemäß Makro-Befehle genannt werden sollen. Ein Makro-Befehl enthält im allgemeinen eine Schlüsselzahl für die auszuführende arithmetische Operation (im Beispiel: Multiplikation) und die Nummer des Speichers, mit dessen Inhalt die Operation auszuführen ist.

Die Aufgabe beim Programmieren eines Rechenganges besteht darin, dafür zu sorgen, daß der Maschine die richtigen Makro-Befehle in der richtigen Reihenfolge zugeleitet werden. Ein in die Maschine eingebautes „Befehlsregister“ nimmt den jeweiligen Makro-Befehl auf und sorgt mittels des Steuerwerkes für seine Durchführung.

Von Wilkes [1], der den Begriff Mikro-Programmierung gebildet hat, ist darauf hingewiesen worden, daß man den logischen Aufbau des sehr komplexen Steuerwerkes recht übersichtlich gestalten kann,

wenn man die Ausführung einer jeden Makro-Operation zurückführt auf die Ausführung einer Folge von einfachen Teiloperationen, den Mikro-Operationen. Dies geschieht praktisch schon bei jeder Rechenmaschine. Die eigentliche Idee von Wilkes ist diese:

Wie man den Ablauf eines jeden Rechenganges dadurch steuert, daß man durch eine Folge von Makro-Befehlen die nötigen Makro-Operationen in der richtigen Reihenfolge auslöst, so kann man ganz analog den Ablauf einer einzelnen Makro-Operation dadurch steuern, daß man durch Mikro-Befehle die zur Ausführung der Makro-Operation nötigen Mikro-Operationen aufruft.

Mikro-Operationen sind zumindest bei im Parallelprinzip arbeitenden Rechenmaschinen so einfache Vorgänge, daß die Ausführung jeder Mikro-Operation je durch einen speziellen Impuls angestoßen werden kann und dann innerhalb einer kurzen „Grundzeit“ (z. B.  $5 \mu s$  bei der Göttinger Maschine „G 3“) durchgeführt wird. In Tab. I ist eine Reihe von Mikro-Operationen mit Symbolen und Erläuterungen angeführt, wie sie zur Addition bzw. Multiplikation im Dualsystem benötigt werden. Jeder Mikro-Operation ist zunächst willkürlich eine Mikro-Operationsnummer zugeordnet worden. Dieser Zuordnung ent-

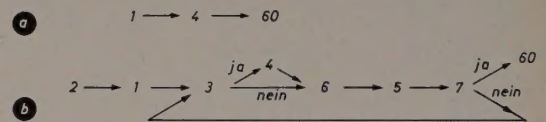


Abb. 1. Schema einer Mikro-Operationsfolge für einen Makro-Befehl (a) „Addition“, (b) „Multiplikation“

spricht in der fertigen Maschine eine feste Verdrahtung. Dann hat z. B. die Mikro-Operationsnummer 3 die ganz konkrete Bedeutung: wenn man vom Steuerwerk dem Operationselement Nr. 3 einen Impuls zuleitet, so wird in der nächsten Grundzeit die Mikro-Operation Nr. 3 ausgeführt.

Man kann aus der Tabelle leicht ersehen, daß die Mikro-Folge  $1 \rightarrow 4 \rightarrow 60$  (Abb. 1) den Makro-Befehl: „Addiere Zahl aus dem im Makro-Befehl angegebenen Speicher zum Resultatregister und fahre in der Rechnung fort“, zur Ausführung bringt. Die Pfeile geben die zeitliche Reihenfolge der Mikro-Operationen an. Ebenso bringt die zweite Mikro-Folge in Abb. 1 den schon oben als Beispiel angeführten Makro-Befehl „Multiplikation“ zur Ausführung.

Man kann aus diesen beiden Beispielen bereits alles erkennen, was bei der Mikro-Programmierung zu tun ist:

Es müssen den einzelnen Mikro-Operationselementen nacheinander Impulse in einer Reihenfolge zugeleitet werden, die durch die Art der jeweiligen Makro-Operation bestimmt ist. Der zeitliche Abstand zwischen den einzelnen Operationen kann konstant sein, sofern die Grundzeit für die Ausführung jeder Mikro-Operation bei allen Mikro-Operationen annähernd gleich groß ist. Sind die Grundzeiten sehr unterschiedlich, so sollte der Impuls zur Auslösung der nächsten Mikro-Operation erst dann erregt werden, wenn von der vorangegangenen Mikro-Operation eine Fertigmeldung eingetroffen ist.

Wie man am Beispiel der Multiplikation sieht, treten Verzweigungen der Mikro-Folge sowie Befehlsschleifen auf. Welcher Zweig zu durchlaufen ist, ist von bestimmten Bedingungen abhängig, die sich im Laufe der Rechnung ändern können. So ist z. B. nach Mikro-Operation 7 so lange der Zweig zur Mikro-Operation 3 hin zu durchlaufen, bis das letzte Partial-Produkt aufsummiert ist; dann ändert sich die Bedingung, und es wird der Zweig zur Mikro-Operation 60 durchlaufen. Es müssen daher Vorrichtungen vorhanden sein, die an vorgegebenen Elementen der Rechenmaschine den gerade bestehenden

Tab. I. Zur Addition und Multiplikation benötigte Mikro-Operationen

Mikro-Operationsnummer	Symbol	Erläuterungen
1	$Sp \rightarrow Md$	Bringe Zahl aus dem im Makro-Befehl angegebenen Speicher zum Multiplizieren-Register $Md$
4	$Md + Ak$	Addiere Zahl aus $Md$ zur Zahl im Resultatregister $Ak$
60	$Fin$	Makro-Operation beendet. Übergang zur nächsten
2	$Ak \rightarrow Mr$	Bringe Zahl aus $Ak$ -Register zum Multiplikatorregister $Mr$
3	$Abfrage Mr_n$	Frage höchste Stelle des Multiplikatorregisters ab, ob dort eine 1 steht
5	$Md \rightarrow r$	Verschiebe Zahl in $Md$ um eine Stelle nach rechts
6	$Mr \rightarrow l$	Verschiebe Zahl in $Mr$ um eine Stelle nach links
7	$Abfrage Mr = 0$	Frage ab, ob Aufsummierung der Partialprodukte beendet

Zustand abfragen und in Abhängigkeit davon entscheiden, welcher Zweig der Mikro-Operationsfolge hinter einer Verzweigung zu durchlaufen ist.

Man sieht unmittelbar die große Ähnlichkeit, die zwischen dem Aufbau der Mikro-Operationsfolgen besteht und demjenigen der Makro-Operationsfolgen, mit denen man beim Programmieren für Rechenmaschinen dauernd arbeitet. Der wesentliche Unterschied liegt im folgenden:

1. Die Auflösung einer Makro-Operation in eine Folge von Mikro-Operationen hat ein einziges Mal beim Bau der Maschine zu erfolgen und verbleibt dann so. Die Mikro-Operationsfolgen können daher fest verdrahtet werden.
2. Die Mikro-Befehle müssen viel schneller hintereinander abgelesen werden können als die Makro-Befehle, da sich ein Makro-Befehl ja aus vielen Mikro-Befehlen zusammensetzt.

## 2. Matrix-Verfahren

Die benötigte hohe Ablesegeschwindigkeit führte dazu, daß für die Mikro-Programmierung neue technische Verfahren entwickelt wurden. Das erste wurde von Wilkes [1] angegeben. Er ordnet den einzelnen Mikro-Befehlen Schlüsselzahlen zu, und zwar demselben Mikro-Befehl so viel verschiedene Schlüsselzahlen, als dieser in verschiedenen Makro-Befehlen vorkommt. Mit jeder Schlüsselzahl sind fest verkoppelt erstens die zugehörige Mikro-Operation und zweitens die nächstfolgende Schlüsselzahl. Durch die Einführung der verschiedenen Schlüsselzahlen ist die Schwierigkeit behoben, die dadurch entstand, daß die Aufeinanderfolge der Mikro-Befehle in den verschiedenen Makro-Befehlen unterschiedlich ist. Der Ablauf der Mikro-Operationsfolge wird auf folgende Weise gesteuert:

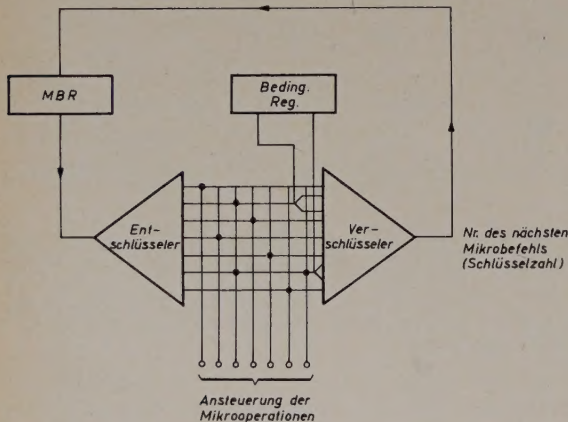


Abb. 2. Steuerwerk nach Wilkes für die Verarbeitung eines Makro-Befehls unter Mitwirkung eines Mikrobefehlsregisters MBR

Der Makro-Befehl setzt die Schlüsselzahl für den ersten Mikro-Befehl, der zur Ausführung des Makro-Befehls benötigt wird, als Dualzahl in das Mikro-Befehlsregister MBR (Abb. 2). An dieses ist ein Entschlüsseler angebaut. Er ist so eingerichtet, daß er diejenige Ausgangsleitung erregt, die durch die Schlüsselzahl angegeben ist. An diese Leitung ist rückwirkungsfrei eine weitere, im Bild senkrecht gezeichnete, angeschlossen, die die jeweilige Mikro-Operation ansteuert. Zur Angabe der nächstfolgenden Schlüsselzahl führt jede Ausgangsleitung des Entschlüssellers zum Eingang eines Verschlüsslers. Der Aufruf dieser Leitung erregt am Ausgang des Verschlüsslers in Form einer Dualzahl die Schlüsselzahl für den nächsten Mikro-Befehl. Diese wird nach der Grundzeit im Mikro-Befehlsregister abgesetzt, und der Vorgang wiederholt sich zur Ausführung der nächsten Mikro-Operation. Zur Herstellung von Verzweigungen sind Vorrichtungen vorhanden, die in Abhängigkeit von z. B. der Stellung eines Bedingungsregisters eine bestimmte Ausgangsleitung des Entschlüsslers an den einen oder anderen Eingang des Verschlüsslers legen (in Abb. 2 gezeigt für 2 Ausgangsleitungen).

Man benötigt für dieses Verfahren maximal so viele Leitungen aus dem Entschlüsseler, als Mikro-Befehlschritte in allen Makro-Operationen vorkommen. Nimmt man einmal an, daß die Maschine 64 verschiedene Makro-Befehle ausführen kann, wobei zur Ausführung jedes

Makro-Befehles im Mittel eine Folge von 10 Mikro-Befehlen notwendig sei, so kommt man bereits auf 640 solcher Ausgänge. Man kann diese Zahl aber etwas erniedrigen, wenn man in den Fällen, in denen eine längere Folge von Mikro-Befehlen zwei Makro-Befehlen gemeinsam ist, dieselben Schlüsselzahlen für diese Mikro-Befehle verwendet, und erst dort, wo die Folge für beide Makro-Operationen wieder verschieden wird, mit dem Bedingungsregister auf die jeweilige Folge aufzweigt. Die entscheidende Stelle des Bedingungsregisters wird dann zu Beginn der Makro-Operation in den gewünschten Zustand gebracht. Allerdings wird der Aufwand für dieses Register und die Steuerung der Verzweigungen auch mit der Anzahl der Verzweigungen je Makro-Operation größer, so daß man einen Kompromiß zwischen diesem und dem Aufwand für den Entschlüsseler und Verschlüsseler schließen muß.

Wilkes hat in seiner Arbeit vorgeschlagen, die Umschlüsselung und den rückwirkungsfreien Anschluß mit Gleichrichter-Netzwerken durchzuführen. Das ist recht aufwendig. In den letzten Jahren wurden jedoch elegante Verfahren entwickelt, um derartige Aufgaben unter Verwendung von Matrizen aus Ferritkernen mit rechteckiger Hysteresisschleife zu lösen<sup>1)</sup>. Zum Vergleich mit einem am Ende des Be-

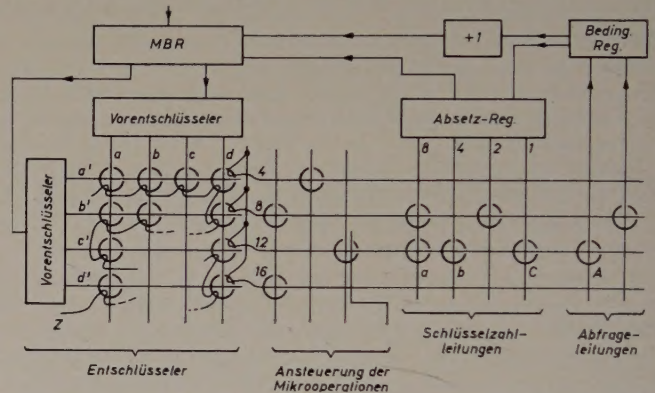


Abb. 3. Schaltschema von Wilkes mit Ferritkernen (Matrix-Steuerwerk)

richtes behandelten Verfahren, das von den Verfassern entwickelt wurde, soll daher an Hand von Abb. 3 im Prinzip angegeben werden, wie sich das Schaltschema von Wilkes (Abb. 2) mit Ferritkernen verwirklichen läßt und welcher Aufwand benötigt wird. Die Entschlüsselung möge mit Hilfe einer quadratischen Matrix aus Ferritkernen durchgeführt werden, die auf der linken Seite des Bildes dargestellt ist. Zur Vereinfachung der Darstellung enthält sie lediglich 16 Ferritkerne und könnte damit nur 16 Schlüsselzahlen aufschlüsseln. Wenn durch je eine der Leitungen  $a \dots d$  und  $a' \dots d'$  nur die Hälfte des zum Ummagnetisieren eines Kernes nötigen Stromes geschickt wird, dann wird nur der Kern an der Kreuzung beider Leitungen ummagnetisiert. Das aufrufende Leitungspaar wird vom Mikro-Befehlsregister über die beiden Vorentschlüsseler festgelegt. Die Anfänge der Sekundärwicklungen der Kerne liegen auf einem gemeinsamen Potential, ihre einzelnen Enden bilden die Ausgänge des Entschlüsslers. Das Ummagnetisieren eines Kernes der Matrix erzeugt in der an den Kern angeschlossenen Leitung (diese sind nur für die Kerne 4, 8, 12, 16 der letzten Spalte in Abb. 3 gezeichnet) einen Stromimpuls. Diese Ausgangsleitungen des Entschlüsslers sind nun mit den Ansteuerleitungen für die Mikro-Operationen gekreuzt. An jeder Kreuzungsstelle, an der von einer Ausgangsleitung des Entschlüsslers aus eine Mikro-Operation ausgelöst werden soll, sind beide Leitungen durch einen weiteren Ringkern gesteckt, der sie damit induktiv miteinander verkoppelt. Wenn man durch hochohmigen Abschluß dafür sorgt, daß die Ströme in den Ansteuerleitungen für die Mikro-Operationen klein genug bleiben, kann die Rückwirkung vernachlässigt werden.

Wenn von einem Entschlüsslerausgang aus gleichzeitig mehrere Mikro-Operationen ausgelöst werden sollen (z. B. könnten im obenerwähnten Beispiel der Multiplikation die Mikro-Befehle Nr. 5 und 6 gleichzeitig gegeben werden), so können deren Ansteuerleitungen auch durch einen gemeinsamen Kern mit dem Entschlüsseler verkoppelt werden.

<sup>1)</sup> Vgl. auch: Eckert, O., Weides, E., und Wallenfang, K.: Über die Gütebeurteilung von Rechteckferriten für elektronische Rechenmaschinen. ELEKTRONISCHE RUNDSCHAU Bd. 9 (1955) Nr. 10, S. 371 — 374

Im allgemeinen wird man die Verkoppelung der Entschlüsselausgänge mit den Ansteuerleitungen so anordnen, daß die Folge der Schlüsselzahlen für die Mikro-Befehle einer Makro-Operation eine natürliche Zahlenfolge darstellt. Man braucht dann nur mit jedem Mikro-Befehl die Schlüsselzahl im Mikro-Befehlsregister um Eins zu erhöhen.

Wo dies nicht möglich ist, kann man eine beliebige Zahl als nachfolgende Schlüsselzahl aufrufen, indem man die betreffende Ausgangsleitung des Entschlüssellers mit den zum Absetzregister führenden Schlüsselzahlleitungen in geeigneter Weise verkoppelt. Das Absetzregister ist ein paralleles duales Register mit den Stellenwerten 1, 2, 4, 8... In Abb. 3 wird z. B. von der Ausgangsleitung Nr. 12 des Entschlüssellers über die Kerne *a* und *b* und *c* im Absetzregister die duale Schlüsselzahl  $1101 = 13$  abgesetzt. Verzweigungen werden dadurch ermöglicht, daß nach Ablauf einer Grundzeit entweder die Schlüsselzahl aus dem Absetzregister zum Mikro-Befehlsregister übertragen oder die alte Schlüsselzahl im Mikro-Befehlsregister um Eins erhöht wird. Die Entscheidung kann getroffen werden unter Verwendung eines weiteren Koppelkernes auf der Ausgangsleitung des Entschlüssellers (in Abb. 3 Kern A). Der dadurch auf einer Abfrageleitung induzierte Impuls wird durch feste Verdrahtung demjenigen Element im Bedingungsregister oder an anderer Stelle in der Rechenmaschine zugeleitet, von dessen Zustand die Entscheidung abhängen soll, und somit für die Entscheidung wirksam gemacht. Die Kerne der Entschlüsselmatrix werden durch eine gemeinsame Leitung wieder vor der Aufnahme des nächsten Mikro-Befehls zurückmagnetisiert. Durch den dabei in der Sekundärwicklung erzeugten Stromimpuls werden damit auch die Verkoppelungsringkerne zurückmagnetisiert. Evtl. wird erst in diesem Augenblick die Schlüsselzahl auf die Leitungen gegeben.

Selbstverständlich können bei diesem System auch noch Einsparungen gemacht werden. So könnte man z. B. daran denken, die Ansteuerleitungen usw. gleich durch die Kerne der Entschlüsselmatrix zu legen. Dies ist lediglich eine Frage der möglichen Wickeltechnik. Ebenso steht der Verwendung der gleichen Mikro-Befehlsfolge in Teilen von zwei Befehlen nichts entgegen.

Ein solches Befehlssteuerwerk hat den Vorteil eines einfachen, logisch übersichtlichen Aufbaues. Man kann auch noch nachträglich die Ausführung von Makro-Operationen abändern, indem man für die betreffende Mikro-Befehlsfolge neue Kerne an den Kreuzungsstellen einsetzt. Das verursacht zwar einige Knüpfarbeit an dem aus Drähten und Ringkernen gebildeten „Teppich“, ist aber durchaus möglich. Schwieriger wird schon eine Erweiterung der Matrix um neue Spalten, was aber auch eine Erweiterung des Mikro-Befehlsregisters bedingt. Man tut also gut daran, beide von vornherein ausreichend zu dimensionieren.

### 3. Ketten-Verfahren

Ein grundsätzlich anderes Bauprinzip für ein Steuerwerk, das die richtige Folge von Mikro-Operationen auslöst, wurde von den Verfassern entwickelt und erprobt. In diesem Steuerwerk werden ebenfalls Ferritkerne verwendet. Während aber bei Wilkes die Kerne, die die einzelnen Mikro-Befehlsschritte auslösen, in einer Matrix vereinigt sind, sind sie bei diesem Verfahren nach Art der magnetostatischen Verzögerungsketten miteinander verbunden. Das Arbeitsschema dieses Steuerwerkes ist in Abb. 4 angegeben. Hier ist links im Bilde wiederum eine Entschlüsselungsmatrix von Ferritkernen gezeichnet. Sie muß jetzt aber nur so viele Elemente enthalten, als

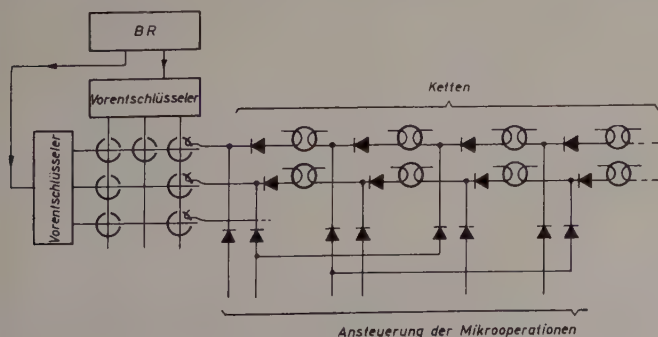


Abb. 4. Ketten-Steuerwerk (schematisch)

Makro-Operationen in der Befehlsliste der Rechenmaschine vorkommen. Durch die Schlüsselzahl des Makro-Befehles wird über die beiden Vorentschlüsseler genau ein Kern der Matrix ummagnetisiert. An jeden Kern der Matrix ist sozusagen in der dritten Dimension eine Kette von Ferritkernen angeschlossen. Jeder Kern der einzelnen Ketten entspricht einer Schlüsselzahl, und der Aufeinanderfolge der Kerne in den Ketten entspricht die natürliche Aufeinanderfolge der Schlüsselzahlen. Durch einen Rücksetzimpuls, der alle Kerne der Matrix zurückmagnetisiert, wird lediglich der gesetzte Kern zurückgekippt. In seiner Ausgangswicklung entsteht ein Übertragsimpuls, der einerseits den ersten Kern der angeschlossenen Kette magnetisiert und andererseits über die an die Ausgangswicklung angeschlossene Ansteuerleitung die gewünschte erste Mikro-Operation auslöst. Jeweils nach einer Grundzeit wird der Magnetisierungszustand des gesetzten Kernes um ein Glied in der Kette weitergetrieben und dabei die an die jeweilige Ausgangsleitung angeschlossene Mikro-Operation ausgelöst.

Wesentlich bei diesem Verfahren ist, daß nur ein einziger Kern des gesamten Kettensystems für alle Makro-Operationen sich in dem Magnetisierungszustand „1“ befindet, alle anderen im Magnetisierungszustand „0“. Der Stromimpuls, der den Magnetisierungszustand eines Kernes auf den in der jeweiligen Kette folgenden überträgt, kann also dem gesamten System gleichzeitig zugeführt werden; er muß nur einmal erzeugt werden.

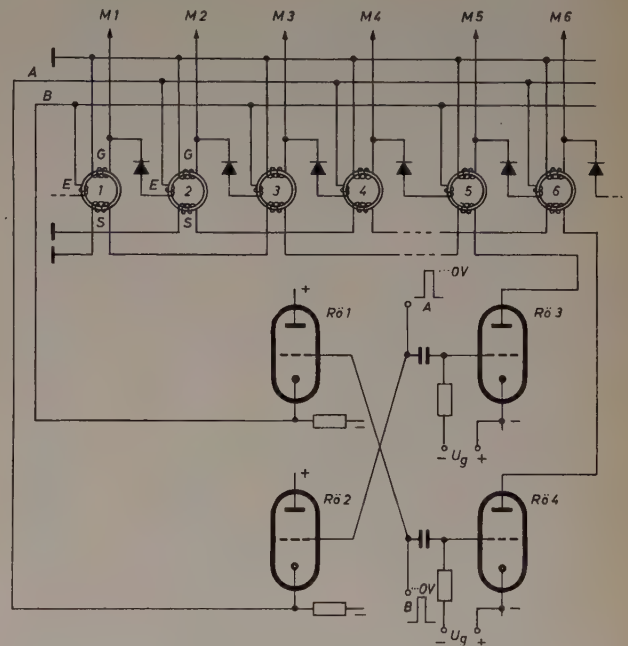


Abb. 5. Magnetostatische Kette für das Steuerwerk

Für diesen Zweck wurden von den Verfassern die bekannten magnetostatischen Verzögerungsleitungen [2] weiterentwickelt. Der Unterschied gegenüber den normalen Ketten besteht darin, daß es möglich sein muß, in den Ketten Verzweigungen vorzusehen, die von irgendwelchen Bedingungen aus gesteuert werden. Weiterhin sollen von jedem Glied der Kette so leistungsstarke Impulse abnehmbar sein, daß damit direkt jeder Mikro-Befehl auch in entfernten Teilen der Rechenmaschine ausgelöst werden kann. Schließlich ergeben sich wesentliche Vereinfachungen aus der Tatsache, daß jeweils nur ein einziger Kern des Systems im Magnetisierungszustand „1“ ist.

Die Prinzipschaltung einer solchen Kette und ihrer Steuerung ist in Abb. 5 angegeben. Jedes Kettenglied besteht aus einem Ferrit-Ringkern mit annähernd rechteckiger Hysteresisschleife. Jeder Ringkern ist mit drei verschiedenen Wicklungen bewickelt. Es sind dies die

1. Schiebewicklung (S)
2. Gebewicklung (G)
3. Empfangswicklung (E)

Die Schiebewicklungen aller Glieder mit ungeraden Plätzahlen sind in einer Gruppe in Reihe geschaltet, deren eines Ende an einer festen Spannung, das andere jedoch an die Anode der Schiebeströmröhre 3

geschaltet ist. Normalerweise ist die Röhre gesperrt. Sie wird durch den Impuls „A“ zur Erzeugung des Schiebeströmpulses geöffnet. In gleicher Weise sind die Schiebewicklungen der Glieder gerader Platzzahl in Reihe und an die Anode der Röhre 4 geschaltet, die für den Schiebeströmpuls durch den Impuls „B“ geöffnet werden kann. Das Ende aller Gebewicklungen liegt an einer festen Spannung, im Bild an Masse, die Anfänge der Gebewicklung sind einzeln zur Abnahme der Ansteuerimpulse für die Mikro-Befehle herausgeführt (M1 — M6).

Ferner ist der Anfang jeder Gebewicklung über eine Kristalldiode mit dem Ende der Empfangswicklung des nächstfolgenden Kernes verbunden. Die Anfänge der Empfangswicklungen aller Kettenglieder mit ungerader Platzzahl sind an die gemeinsame Leitung B geschaltet, die an die Katode eines Katodenverstärkers Röhre 1 geführt ist. Diese Katode befindet sich normalerweise auf einem negativen Potential, sie wird für die Dauer des Impulses B auf Massepotential angehoben. In gleicher Weise sind die Anfänge der Empfangswicklungen der Glieder gerader Platzzahl an die Leitung A und die Katode der Röhre 2 geschaltet, die nur während des Impulses A auf 0 Volt angehoben wird.

Angenommen nun, es sei der erste Kern der Kette in Zustand 1 ummagnetisiert worden. Wird jetzt der Impuls A gegeben, so wird der Kern 1 wieder zurückmagnetisiert in den Zustand 0 und am Anfang der G-Wicklung von Kern 1 erscheint ein negativer Spannungsimpuls. Für diesen ist die Diode zur E-Wicklung von Kern 2 leitend, da durch den A-Impuls auch die Katode von Röhre 2 auf Massepotential gehoben wird. Es fließt ein Strom durch die E-Wicklung von Kern 2 und magnetisiert diesen in die 1-Lage um. Am Anfang der G-Wicklung von Kern 2 kann dabei ein positiver Impuls abgenommen werden. Wird nun im nächsten Schritt ein Impuls B gegeben, so wird Kern 2 wieder zurückmagnetisiert und dafür Kern 3 in den 1-Zustand um-

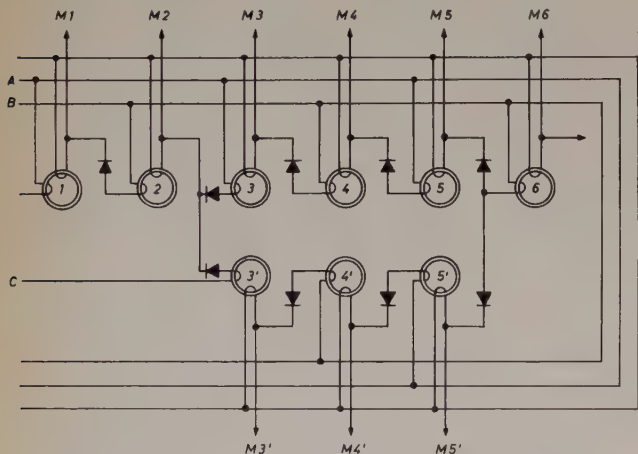


Abb. 6. Verzweigung und Zusammenführung zweier Kettenteile

magnetisiert. Die währenddessen in der E-Wicklung von Kern 2 induzierte Spannung führt zu keinem Rückstrom auf die G-Wicklung von Kern 1, da die in diesem Kreis liegende Diode wegen der jetzt negativen Spannung an der Katode von Röhre 2 gesperrt ist. Werden nun in weiterer Folge wechselnd die Impulse A und B gegeben, so wird der 1-Magnetisierungszustand von Kern zu Kern der Kette weitergeschoben.

In Abb. 6 ist schließlich die Schaltung für die Verzweigung und Zusammenführung einer Kette angegeben.

Werden hier im normalen Betrieb immer abwechselnd die Leitungen A und B durch die zugehörigen Katodenverstärker auf 0 Volt festgehalten, so läuft der 1-Zustand durch die Kerne 1...6. Wird aber während des Zurückmagnetisierens von Kern 2 durch den Schiebeströmpuls nicht die Leitung B, sondern die Leitung C auf 0 Volt festgehalten, so wird der Koppelstrom aus der G-Wicklung von Kern 2 nicht über die E-Wicklung von Kern 3, sondern über die von Kern 3' fließen, womit letzterer ummagnetisiert wird.

Die folgenden Kerne der abgezweigten Kette können dann aber wieder die Leitungen A und B benutzen. Man kann dieselbe Leitung C auch für eine Verzweigung in einem Übergang ungerade — gerade Platznummer verwenden. Sie wird dann lediglich im Augenblick des Über-

ganges an Stelle der Leitung A eingeschaltet. Nur wenn in zwei aufeinanderfolgenden Schritten von einer auf 4 Ketten verzweigt werden soll, müßte man eine weitere Leitung D verwenden, die wechselnd mit der Leitung C geschaltet wird. Die Wahl zwischen den Zweigen wird dann so ausgeführt, daß durch den positiven Impuls von der G-Wicklung des letzten, oder den negativen von der des vorletzten Kernes vor der Verzweigung die für die Richtung der Verzweigung entscheidende Stelle der Maschine, z. B. das schon erwähnte Bedingungsregister, abgefragt wird. Je nach Erfüllung oder Nichterfüllung der Bedingung wird dann ein Flip-Flop gesetzt, der im gesetzten Zustand den A- bzw. B-Impuls nicht den Gittern der Röhren 1 und 2, sondern dem Gitter des Katodenverstärkers für die Leitung C zuleitet.

In Abb. 6 ist ebenfalls die Zusammenführung zweier Kettenteile dargestellt. Hierfür sind lediglich die Dioden, die an dem Anfang der G-Wicklungen der letzten Kerne vor der Zusammenführung liegen, an die E-Wicklung des nächsten, allen gemeinsamen Kernes zu legen. Natürlich ist hierbei darauf zu achten, daß in allen Fällen der gleiche Übergang von gerader auf ungerade Kerngruppe oder umgekehrt stattfindet. Dafür muß u. U. ein Kern an das Ende eines Kettenteiles zusätzlich eingefügt werden, der keine Mikro-Operation, sondern nur den nächsten Stromimpuls veranlaßt. Mit einer Verzweigung und einer Zusammenführung ist die Bildung einer Befehlsschleife möglich.

Die in Göttingen für dieses Verfahren entwickelten Ketten wurden aus Ferritkernen Typ „923/14“ und später Typ „S 1“ der Stemag hergestellt. Der Außendurchmesser der Kerne betrug 9 mm und in einer späteren Ausführung 6 mm. Die Dioden, die die Kerne miteinander verbinden, sollen möglichst kleine Leitwiderstände haben. Es wurden Dioden mit Gold-Gegenelektrode der AEG, Typ „OA 100/30“, verwendet. Schiebengeschwindigkeiten von  $3 \times 10^5$  Verschiebungen/s ließen sich leicht erreichen. Die von diesen Ketten abnehmbaren Impulse hatten eine Leistung von mehreren Watt (50 Volt gemessen bei Belastung mit 1 kOhm).

Nebenher sei erwähnt, daß die beschriebene Form der magneto-statischen Spulenketten auch außerhalb von elektronischen Rechenmaschinen gut für Steuer- und Zählzwecke verwendbar ist. Sie hat vor den üblichen Zählern mit Elektronenröhren den Vorzug, daß für jeden Zählschritt ein individueller Impuls mit relativ hoher Leistung zur Verfügung steht. Wenn man ferner die beschriebene Schaltung zur Verzweigung mehrfach hintereinander anwendet, gelangt man zu einem einfachen, schnellen Entschlüsseler für Serienzeichen.

#### 4. Vergleich

Es mögen nun Vor- und Nachteile der beiden behandelten Verfahren gegeneinander abgewogen werden. Das erste Verfahren, das mit Ferritmatrizen die einzelne Schlüsselzahl aufruft, sei Matrix-Verfahren genannt, während das zweite Verfahren als Kettenverfahren bezeichnet sei. Hinsichtlich der Geschwindigkeit, mit der die Mikro-Operationen abgerufen werden können, dürfte das Kettenverfahren etwas überlegen sein, da hier das Umsetzen des Mikro-Befehlsregisters und das Auswählen des nächsten Kernes wegfallen. Doch dürfte auch beim Matrix-Verfahren das Abrufen von  $2 \times 10^5$  Mikro-Operationen/s möglich sein, was im allgemeinen ausreicht. Verzweigungen und Befehlsschleifen lassen sich mit beiden Verfahren gleich einfach durchführen. Einen gewissen Vorteil bietet hier das Matrix-Verfahren insofern, als es möglich ist, denselben Kern vielfach hintereinander abzurufen (Befehlsschleife der Länge 1), während beim Kettenverfahren Befehlsschleifen eine gerade Anzahl von Kernen enthalten müssen.

Wenn man den Aufwand für beide Verfahren vergleichen will, so ergibt sich folgendes: das Matrix-Verfahren benötigt mehr Kerne.

Tab. II. Vergleich des Aufwandes

Makro-Befehle	Schlüsselzahlen	Matrix-Verfahren			Ketten-Verfahren		
		Röhren	Dioden	Einheiten	Röhren	Dioden	Einheiten
8	64	40	112	51	20	136	34
16	128	52	168	69	24	296	54
32	256	64	224	86	30	556	86
64	512	84	344	118	36	1112	147
64	1024	104	464	150	40	2136	254

Jeder Schlüsselzahl entspricht beim Kettenverfahren ein Kern der Kette und beim Matrix-Verfahren ein Kern der Entschlüsseler-Matrix. Alle übrigen der Verkoppelung dienenden Kerne haben beim Kettenverfahren kein Gegenstück. Andererseits benötigt das Kettenverfahren zwei Dioden pro Schlüsselzahl. Dafür sind beim Kettenverfahren die Vorentschlüsseler wieder einfacher. Aus diesen Gründen ergibt sich, daß der Vergleich beider Verfahren stark abhängt von der Anzahl der vorkommenden Schlüsselzahlen sowie von der Anzahl der Makro-Befehle. In Tab. II ist der Vergleich hinsichtlich Röhren und Dioden überschlagsweise durchgeführt für Maschinen mit 8, 16, 32, 64 Makro-Befehlen, wobei jeder Makro-Befehl durchschnittlich aus 8 Mikro-Befehlen bestehen möge. Eine Ausnahme bildet die letzte Zeile mit 64 Makro-Befehlen zu je 16 Mikro-Befehlen. Die Mikro-Befehle in einer mehrfach durchlaufenen Schleife sind dabei nur einfach zu zählen. Gerechnet ist in der Tabelle nur der Aufwand für Befehlsregister, Entschlüsselungen, Verschlüsselungen, Absetzregister und Kettenbetrieb. Abfrage der Bedingungen und Taktgeber wurden nicht eingerechnet, dürften aber bei beiden Verfahren etwa gleichen Aufwand erfordern.

Mitteilung aus dem Institut für elektrische Nachrichtentechnik und Meßtechnik der Technischen Hochschule München

W. E. PROEBSTER

## Das Paralleladdierwerk der PERM

DK 681.141:621.385

Elektronische Rechenmaschinen, deren Entwicklung vor mehr als 10 Jahren in den Vereinigten Staaten begann, gewinnen in Deutschland wachsende Bedeutung. So entstand auch an der Technischen Hochschule München unter Leitung von Prof. Dr. H. Piloty und Dr. R. Piloty, P. D., eine derartige Anlage, die „Programmgesteuerte Elektronische Rechenanlage München, PERM“, die in Kürze fertiggestellt sein wird [1].

Die PERM, vornehmlich für die Lösung von wissenschaftlichen Aufgaben geeignet, ist eine Ziffernrechenmaschine. Die Zahlen werden im Innern der Maschine rein binär und in paralleler Form dargestellt, d. h. die einzelnen Ziffern einer Zahl werden nicht in zeitlicher Folge, sondern gleichzeitig behandelt. Vorteile dieses Verfahrens sind einfachere arithmetische Vorschriften für die 4 Grundrechenarten und höhere Rechengeschwindigkeit, erkauft allerdings um den Preis multipler Verbindungsleitungen und vielstelliger Parallelregister zur Aufnahme der Zahlen und der dazugehörigen Paralleladdierwerke.

Bei den Paralleladdierwerken lohnen daher genaue Untersuchungen darüber, wie man mit minimalem Materialaufwand zu einer zufriedenstellenden betriebssicheren Lösung kommt, da sich jede Einsparung an einer Registerstelle auch auf alle übrigen erstreckt. Neben geringem Aufwand ist aber noch kurze Operationszeit anzustreben, die sich nicht nur auf Addition und Subtraktion auswirkt, sondern auch auf Multiplikation und Division, da diese sich aus wiederholter Addition bzw. Subtraktion zusammensetzen. Diesbezügliche Untersuchungen sind jedoch bisher noch nirgends veröffentlicht worden.

Im folgenden ist nun die prinzipielle Wirkungsweise verschiedener Addierwerke erläutert, die bei der Entwicklung der PERM in Betracht gezogen und zum Teil experimentell untersucht wurden. Für die in der PERM verwendete Art wird die Dimensionierungstheorie abgeleitet; abschließend sind die am 41stelligen Mantissenaddierwerk der PERM erzielten Resultate angegeben.

Die Untersuchungen beschränken sich dabei auf die Verwendung von Röhrengattern<sup>1)</sup> und hier weiter auf solche, die für die PERM ausgewählt wurden<sup>2)</sup>. Es ist darum nötig, zunächst kurz auf diese einzugehen.

<sup>1)</sup> Gatter = Verknüpfungsschaltung

<sup>2)</sup> Die Begründung für die Wahl der Gatter ist in der Dissertation des Verfassers „Die Schaltungstechnik einer elektronischen Parallelrechenmaschine“ gegeben, die Beschreibung und Dimensionierung des Schaltkreissystems der PERM zum Vorwurf hat

Man sieht, daß das Kettenverfahren weniger Röhren, dafür aber mehr Dioden benötigt. Setzt man hinsichtlich des Aufwandes und der Zuverlässigkeit 10 Dioden oder eine Röhre gleich einer Einheit, so erhält man die Vergleichszahlen in den mit „Einheiten“ überschriebenen beiden Spalten. Es zeigt sich, daß das Kettenverfahren bis zu etwa 250 Schlüsselzahlen einfacher ist, während darüber hinaus von der Seite des Aufwandes gesehen das Matrix-Verfahren zu bevorzugen ist. Selbstverständlich ist diese Abschätzung mit einer Willkür behaftet. Änderungen in der Verdrahtung dürften beim Kettenverfahren einfacher durchzuführen sein, weshalb bei der Entwicklung der Göttinger Maschine „G 3“ dieses Verfahren angewendet wird.

### Schrifttum

- [1] Wilkes, M. V., Stringer, J. B.: Micro-Programming and the Design of the Control Circuits in an Electronic Digital Computer. Proc. Cambridge philos. Soc. Bd. 49 (1953) S. 230—238
- [2] An Wang und Woo, D. W.: Static Magnetic Storage and Delay Line. J. appl. Phys. Bd. 21 (1950) Nr. 6, S. 49

### 1. Die Schaltkreiselemente

Aus Gründen der bequemen Herstellung, der einfachen Wartung und Fehlersuche setzen sich die Schaltkreise der PERM aus einer beschränkten Anzahl von Schaltkreiselementen zusammen, von denen 6 Arten für das Addierwerk in Frage kommen:

Als Speicher-(Register-)Element zur Aufnahme einer Binärziffer dient das Flip-Flop (im folgenden mit  $F$  bezeichnet), das nach [2] dimensioniert ist (Abb. 1). Es wird durch negative Impulse eingestellt, die über eine Diodenschaltung an die Gitter der Röhre gelegt werden. Mehrere parallelliegende  $F$  bilden ein „Register“, das die Speicherung einer Binärzahl ermöglicht. Die Anodenspannungen eines oder mehrerer  $F$  betreiben nun allgemein ein Verknüpfungnetzwerk, das sich aus 4 Arten von Gleichspannungsgattern zusammensetzen kann, und das seinerseits ein oder mehrere Impulsgatter steuert. Geöffnete Impulsgatter lassen Abfrageimpulse — die z. B. von Impulsverteilerschaltungen herrühren — durchlaufen, wodurch angeschlossene  $F$  eingestellt werden und so das Resultat der Verknüpfung speichern.

Das wichtigste Verknüpfungselement für Steuerspannungen ist das invertierende Gatter  $\bar{G}$  (Abb. 2). Es verknüpft 2 Eingangsspannungen zu einer Ausgangsspannung, die nur dann positiv ist, wenn beide Eingangsspannungen negativ, d. h. beide Röhrensysteme gesperrt sind.

Verbindet man beide Eingänge des  $\bar{G}$ , so entsteht ein Element, dessen Ausgangsspannung stets das entgegengesetzte Vorzeichen wie das der Eingangsspannung hat. Für einen solchen Negator (kurz  $N$ ) genügt aber schon ein Röhrensystem; mit dem zweiten System der verwendeten Doppeltriode E 90 CC kann ein weiterer  $N$  gebildet werden.

Den Nachteil hoher dynamischer Eingangskapazität von  $G$  und  $N$  vermeidet das dritte Element, Mischgatter  $G$  (Abb. 3a), das sich aus

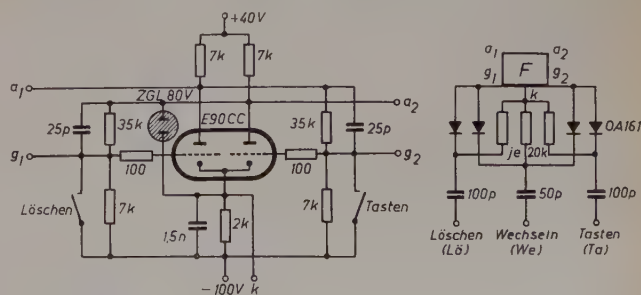


Abb. 1. Schaltschema und Blockschaltbild eines Flip-Flops der PERM

zwei ausgangsseitig verbundenen Katodenverstärkern zusammensetzt. Die Ausgangsspannung wird hier nur dann negativ, wenn beide Eingangsspannungen negativ sind.

Katodenverstärker  $K$  werden dort eingesetzt, wo entweder außergewöhnlich große kapazitive Belastung auftritt, oder die Umschaltvorgänge beschleunigt ablaufen sollen. Wie beim  $N$  werden wieder mit einer Röhre zwei  $K$  aufgebaut (Abb. 3b).

Das Impulsgatter  $IG$  schließlich öffnet oder schließt, abhängig von einer anliegenden Steuerspannung, einen Impulskanal. Es ist in der PERM durch eine bremsgittergesteuerte Pentode realisiert (Abb. 4). Am Steuergitter liegen die Eingangsimpulse, am Bremsgitter die von einem  $F$ ,  $G$ ,  $N$ ,  $G$  oder  $K$  herrührende Steuerspannung. Bei geöffneter Röhre entstehen an der Anode negative Impulse; meistens sorgt ein dort kapazitiv angeschlossener Übertrager dafür, daß die Impulse einerseits an die Ausgangslast angepaßt abgegeben werden, andererseits mit positiver und negativer Polarität verfügbar sind.

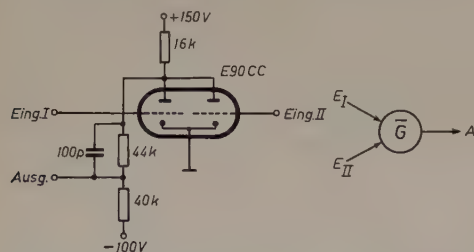


Abb. 2. Schaltschema und Blockschaltbild eines invertierenden Gatters  $G$

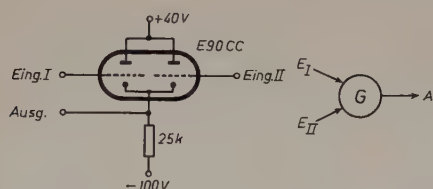


Abb. 3a. Schaltung und Blockschaltbild eines Mischgatters  $G$

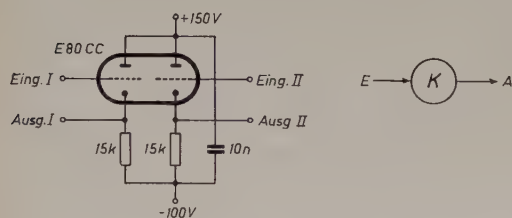


Abb. 3b. Schaltung und Blockschaltbild eines Katodenverstärkers  $K$

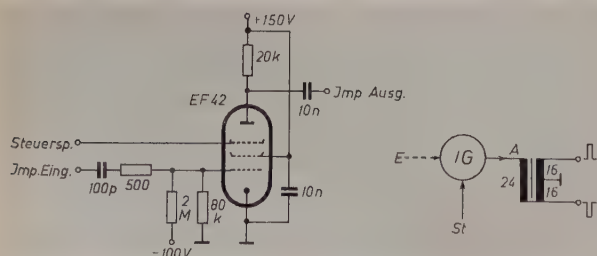


Abb. 4. Schaltung und Blockschaltbild eines Impulsgatters  $IG$

## 2. Prinzip und Dimensionierung der Ausblendschaltung

Im Grunde sind zur Durchführung der Paralleladdition 3 Register nötig: Zwei zur Speicherung von Addend  $X$  (zuzuzählende Größe) bzw. Augend  $Y$  (Größe, zu der etwas addiert werden soll), eines zur Aufnahme der Summe  $S$ . Praktisch kommt man aber mit 2 Registern aus, wenn man Augenden- und Summenregister zusammenlegt und während der Additionsausführung den Wert des Augenden in einem Bauteil festhält, das zeitlich begrenzte Speicherung ermöglicht.

Als Zwischenspeicher werden dazu in allen bekanntgewordenen Maschinen  $LC$ -Impulsverzögerungsglieder herangezogen (z.B. [3] [4]), die relativ hohen Anforderungen genügen müssen, je Stelle mindestens einmal vorkommen und damit einen großen Teil des Gesamtaufwandes ausmachen. Um dies zu vermeiden, wurde in der PERM mit dem neuen Prinzip der Ausblendschaltung<sup>3)</sup> eine weit wirtschaftlichere Lösung entwickelt. Mit ihm ist es möglich, die breitbandigen Impulsverzögerungsglieder durch einfache  $RC$ -Glieder in geeignet bemessenen Schaltungen zu ersetzen, ohne daß dabei die Rechengeschwindigkeit wesentlich absinkt.

Abb. 5 zeigt das Prinzip der Ausblendschaltung.  $F$  sei ein Element des  $Y$ - $S$ -Registers,  $IG$  ein von ihm direkt oder über ein Netzwerk von Mischgattern gesteuerter Impulsgatter. Verändert nun ein Impuls die Stellung des  $F$  und zugleich die Ausgangsspannung des Netzwerkes vor dem  $IG$ , so ändert sich auch dessen Zustand. Koinzident mit dem Einstellimpuls des  $F$  soll aber am Eingang des  $IG$  ebenfalls ein Impuls anliegen. War vorher das  $IG$  gesperrt, so wird sich jedoch bei richtiger Bemessung von  $RC$ -Glieder, Impulsbreite und Sperrspannung am  $IG$  dieses erst öffnen, wenn der anliegende Impuls beendet ist. War das  $IG$  aber geöffnet, so setzt sich die Sperrung, verursacht durch  $RC$ -Glieder und Sättigungscharakteristik des Anodenstromes im  $IG$  als Funktion von  $U_{g3}$  in der Nähe von  $U_{g3} = 0$ , so spät durch, daß der durchgelassene Impuls nur wenig beschnitten wird.

Die Dimensionierungsvorschrift für die Ausblendschaltung wird an Hand von Abb. 6 aufgestellt, die den zeitlichen Ablauf der Bremsgittersteuerung für die beiden eben betrachteten Fälle wiedergibt; hierbei ist der Spannungsverlauf des steuernden  $F$  bzw. Netzwerkes und auch die Form der am  $IG$  anliegenden Impulse vereinfachend als ideal rechteckig angenommen.

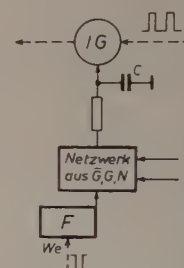


Abb. 5. Prinzip der Ausblendschaltung

Gehen wir von den Voraussetzungen aus, daß die  $I_a U_{g3}$ -Kennlinie der Röhre des  $IG$ , die Impulsdauer  $\tau$  und ebenfalls die positive Steuerspannung  $U_{öff}$  bekannt sind, negative Steuerspannung  $U_{sp}$ , Zeitkonstante  $RC$  und Impulsabstand  $T$  aber gesucht werden, so ergibt sich unter Verwendung der Bezeichnungen von Abb. 6 folgender Lösungsgang:

Schreibt man für das verzögerte Sperren des  $IG$  den zulässigen Dachabfall am hinteren Ende des durchgelassenen Impulses vor, so kann man aus der  $I_a U_{g3}$ -Kennlinie den dazugehörigen Abfall der Bremsgitterspannung  $\Delta U_{g3}$  ermitteln. Dieser braucht dabei nicht übertrieben klein gehalten zu werden, da der Dachabfall des Impulses durch Übersteuerung und Begrenzung an den Verbraucherstellen leicht ausgeglichen werden kann. Da Anstieg und Abfall der Steuerspannungen am  $IG$  unter den getroffenen Annahmen symmetrisch verlaufen, ergibt sich dann aus der Forderung für verzögertes Öffnen des  $IG$  die negative Steuerspannung

$$U_{sp} \leq U_{c3} - \Delta U_{g3}$$

Mit  $U_{sp}$  läßt sich aber die Zeitkonstante  $RC$  ermitteln, wenn man im exponentiellen Anstieg bzw. Abfall der Steuerspannungen nur das lineare Glied berücksichtigt und damit einen zusätzlichen Sicherheitsfaktor einführt. Aus Abb. 6 läßt sich einfach ableiten

$$RC \geq \tau \frac{U_{öff} - U_{sp}}{\Delta U_{g3}}$$

Eine besonders einfache Realisierung des  $RC$ -Gliedes ergibt sich, wenn man als Kapazität  $C$  die Eingangskapazität  $IG$  benutzt; dann ist aber auch  $R$  festgelegt.

(Diese Formel gilt ebenfalls für den Fall, daß auch  $U_{sp}$  vorgegeben ist. Allerdings muß man sich dann bei der Wahl von  $\Delta U_{g3}$  vergegenwärtigen, daß die Bedingung  $\Delta U_{g3} \leq U_{c3} - U_{sp}$  eingehalten wird.)

<sup>3)</sup> Diese Schaltung gestattet es mit einfachen Mitteln, aus einem Impulszug einen einzelnen Impuls exakt auszublenzen

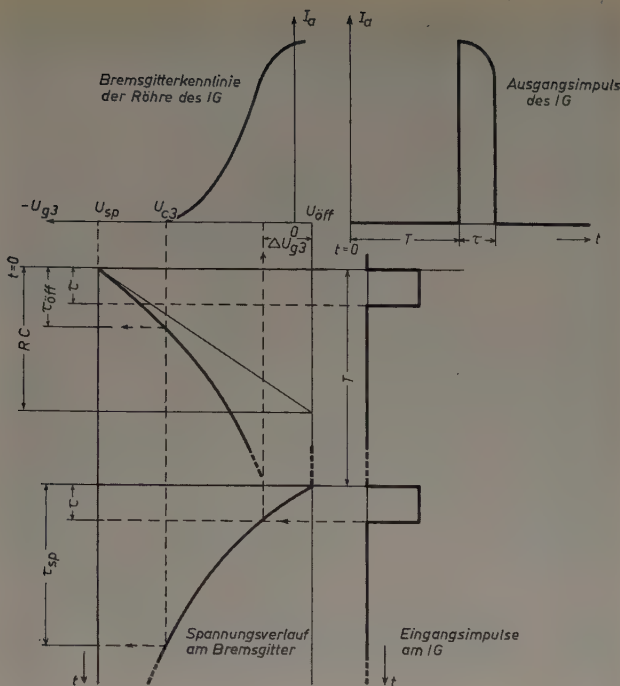


Abb. 6. Zur Dimensionierung der Ausblendschaltung.  $I_a$  = Anodenstrom der IG-Röhre,  $U_{g3}$  = ihre Bremsgitterspannung,  $U_{c3}$  = Cut-off-Spannung am Bremsgitter der IG-Röhre,  $U_{off}$ ,  $U_{sp}$  = Ruhewert der Öffnungs- bzw. Sperrspannung des IG,  $\tau$  = Impulsdauer,  $T$  = Impulsabstand,  $\tau_{sp}$ ,  $\tau_{off}$  = Sperr- bzw. Öffnungsverzögerung,  $RC$  = Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes

Der minimale Impulsabstand schließlich ergibt sich aus der Überlegung, daß der Endwert der Steuerspannung am IG praktisch nach dreimal Zeitkonstante erreicht ist

$$T > 3 \cdot RC$$

### 3. Grundsätzliche Wirkungsweise verschiedener Paralleladdierwerke

Die naheliegendste Lösung ist, jeder Stelle ein eigenes Addierwerk zuzuordnen, das die Stellenwerte beider Register und einen eventuellen Übertrag aus dem Addierwerk der nächstniedrigeren Stelle an seinen Eingängen entgegennimmt, an seinen beiden Ausgängen Summe  $S$  und Übertrag  $\bar{U}$  an die Ergebnisregisterstelle bzw. an das Addierwerk der nächsthöheren Stelle abgibt (Abb. 7).

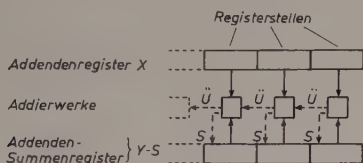


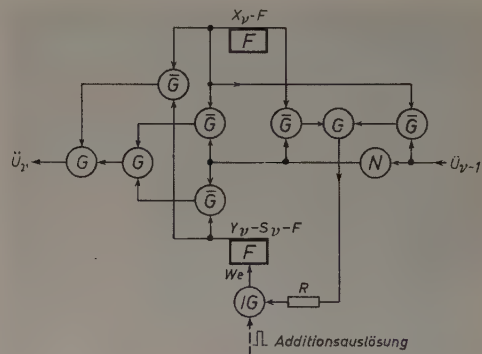
Abb. 7. Paralleladdierwerk mit einem vollständigen Addierwerk je Stelle.  $\bar{U}$  = Übertrag,  $S$  = Summe

Hier wird also die Addition nach Eingabe der beiden zu addierenden Zahlen  $X$  und  $Y$  in die Register und nach entsprechender Einstellung der Addiernetzwerke, die ihrerseits  $IG$  steuern, in einem Taktschritt ausgeführt. In Abb. 8a) ist die Funktionstabelle für das Addierwerk der  $v$ ten Stelle angegeben, das die Stellenwerte  $X_v$  und  $Y_v$  der beiden Register und den Übertrag  $\bar{U}_{v-1}$  von der nächstniedrigeren Stelle zu addieren hat. Würde man nun die Realisierung so vornehmen, daß die einzelnen  $F$  des  $Y$ -Registers (Abb. 7) bei der Addition entsprechend der Funktionstabelle gelöscht oder getastet werden, so wären bei Verwendung der beschriebenen Schaltkreiselemente 17 pro Registerstelle nötig. Es ergibt sich jedoch eine wesentliche Vereinfachung, wenn man den Ausgangswert des  $Y-S-F$  jeder Stelle bei der Addition berücksichtigt und keine Löschung bzw. Tastung, sondern einen bedingten Stellungswechsel durchführt. Die 4 Fälle von Stellungs-

wechsel des  $Y-S-F$  sind in Tab. b (Abb. 8) enthalten; diese vereinfacht sich noch weiter zu Tab. c, da ersichtlich der Wert von  $Y_v$  ohne Einfluß ist. Das hieraus resultierende Addierwerk für eine Stelle zeigt Abb. 8d. Trotz der Vereinfachung ist der Bedarf an Elementen mit 12 pro Stelle noch ziemlich hoch.

a) Additionstabelle für 3 einstellige Dualzahlen					b) Die Fälle, bei denen $S_v$ von $Y_v$ abweicht					c) Stellungswechsel von $Y_v$ für		
$X_v$	$Y_v$	$\bar{U}_{v-1}$	$S_v$	$\bar{U}_v$	$X_v$	$Y_v$	$\bar{U}_{v-1}$	$S_v$		$X_v$	$\bar{U}_{v-1}$	
0	0	0	0	0	0	0	L	L		0	L	
0	0	L	L	0	0	L	L	0		L	0	
0	L	0	L	0	L	0	0	L				
0	L	L	0	L	L	L	0	0				
L	0	0	L	0								
L	0	L	0	L								
L	L	0	0	L								
L	L	L	L	L								

$X_v, Y_v$  Wert der  $v$ . Stelle des  $X$ - bzw.  $Y$ -Registers  
 $\bar{U}_{v-1}$  Übertrag von der  $v-1$ . Registerstelle  
 $S_v, \bar{U}_v$  Entstehende Summe bzw. Übertrag



(d)

Abb. 8. Funktionstabellen a...c (oben) und Blockschaltbild d (unten) einer Stelle eines Paralleladdierwerks für 1-Takt-Addition

Es sei an dieser Stelle vermerkt, daß die in einer Parallelrechenmaschine auftretenden Verknüpfungsaufgaben keineswegs kompliziert sind, und jeder, der mit den Verknüpfungselementen einigermaßen vertraut ist, schneller durch „Probieren“ als durch Berechnen zur Minimallösung gelangt.

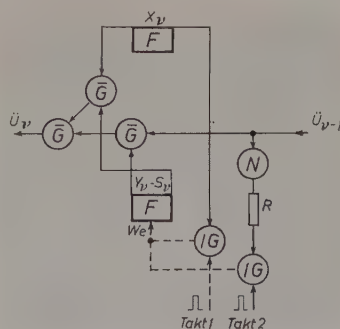
Ein allgemeines Gesetz der Rechenmaschinenteknik besagt, daß man bei der Automatisierung von Vorschriften dann den kleinsten Materialaufwand erhält, wenn man diese möglichst weit in ihre Operationselemente auflöst (wobei dann allerdings der Zeitbedarf steigt). Dieses Gesetz läßt sich auch hier anwenden, da man die Addition in 2 Teile aufspalten kann, nämlich

1. Addition von  $X$  auf  $Y$  ohne Berücksichtigung der Überträge (Zwischenergebnis  $Y'$ ),
2. Addition der Überträge.

Beide Teile werden in 2 Schritten nacheinander ausgeführt.

Der 1. Additionstakt besteht dann in einem nur von  $X_v$  abhängigen Stellungswechsel des  $Y_v-S_v-F$  und bedarf keiner weiteren Erläuterung.

Aus der Funktionstabelle für die Addition der Überträge (Abb. 9) oder aus einer einfachen Überlegung folgt, daß beim 2. Additions-



Funktionstabelle für den 2. Additionstakt

$X_v$	$Y_v'$	$\bar{U}_{v-1}$	$S_v$	$\bar{U}_v$
0	0	0	0	0
0	0	L	L	0
0	L	0	L	0
0	L	L	0	L
L	L	0	L	0
L	L	L	0	L
L	0	0	0	L
L	0	L	L	L

Abb. 9. Blockschaltbild (links) und Funktionstabelle (rechts) einer Stelle eines Paralleladdierwerks für 2-Takt-Addition

\*)  $L$  kennzeichnet hier und im folgenden die Binäreins

schritt das  $Y-S-F$  der  $v$ -ten Stelle nur dann zu wechseln ist, wenn  $\bar{U}_{v-1} = L$  ist und ein Übertrag auf die nächsthöhere Stelle nur dann gegeben wird ( $\bar{U}_v = L$ ), wenn  $X_v = L$  und  $Y_v' = 0$  oder  $Y_v' = L$  und  $\bar{U}_{v-1} = L$ .  $X_v = L$  und  $Y_v' = 0$  charakterisiert nämlich den Fall, in dem der Übertrag in der  $v$ -ten Stelle selbst entspringt ( $X_v = Y_v = L$ ), während es sich bei  $Y_v' = L$  und  $\bar{U}_{v-1} = L$  um die Fortpflanzung eines von einer niedrigeren Stelle ausgehenden Übertrages handelt. Eine Stelle des hierdurch bestimmten Addierwerkes ist als Blockschaltbild in Abb. 9 dargestellt.

Wirkungsweise: Nach Eingabe der Zahlen in das  $X$ - und  $Y$ -Register wird von einer Steuerschaltung ein Auslöseimpuls an sämtliche  $IG \# 1^5$  des Addierwerkes gelegt und dadurch Schritt 1 durchgeführt.

Haben nach einer gewissen Zeit die Spannungen an dem „Übertragnetzwerk“ — gebildet durch sämtliche  $G \# 1, 2, 3$  und  $N$  — ihren Endwert erreicht, so wird ein 2. Auslöseimpuls an alle  $IG \# 2$  gelegt. Übertragnetzwerk und  $IG \# 2$  arbeiten dabei nach dem Prinzip der Ausblendschaltung.

Mit der 2-Takt-Addition kommt man also schon mit 8 Elementen pro Stelle aus. Die Erhöhung des Bedarfes an Schaltkreiselementen in der Steuerschaltung ist von der Stellenzahl des Addierwerkes ziemlich unabhängig und außerdem unbedeutend.

Namentlich bei großer Stellenzahl überwiegt die Einstellzeit des Übertragnetzwerkes dieser Schaltung ganz wesentlich gegenüber der Umschaltzeit des  $F$  und bestimmt damit fast allein die Additionsdauer. Das Maximum der Einstellzeit tritt auf, wenn  $X$  mit Ausnahme der niedrigsten Stelle 0 ist, im  $Y$ -Register aber lauter  $L$  enthalten sind. Nach dem 1. Takt entsteht dann in der niedrigsten Stelle das Übertragskriterium ( $X_1 = L, Y_1' = 0$ ) und pflanzt sich bis zur höchsten Stelle fort. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist dabei hauptsächlich von der Umschaltzeit der aneinandergereihten  $G \# 1$  und  $\# 3$  abhängig, die die sogenannte „Übertragskette“ bilden. Bei einem Versuchsaufbau dieses Addierwerkes wurde eine maximale Einstellzeit von  $q \cdot 0,3 \mu s$  gemessen, wenn  $q$  die Stellenzahl des Registers darstellt; für das 41stellige Mantissenaddierwerk der PERM entstanden also etwa  $12 \mu s$  Einstellzeit, während die Umschaltzeit des  $F$  nur  $1 \mu s$  beträgt.

Diese relativ große Einstellzeit ist bedingt durch die Trägheit der  $G$ , die — wie eingangs erwähnt — eine hohe dynamische Eingangs-

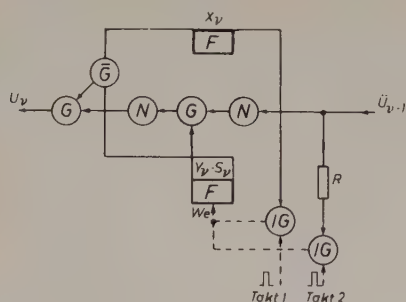


Abb. 10. 2-Takt-Addierwerk mit GNGN-Übertragskette

kapazität aufweisen. Eine Schaltung, welche die Trägheit der  $G$  umgeht, ist in Abb. 10 angegeben. Die Übertragskette ist hier durch eine Reihe von GNGN-Gliedern gebildet; die Negatoren, ebenfalls mit hoher dynamischer Eingangskapazität behaftet, werden hier von den  $G$  eingangsseitig niederohmig betrieben und arbeiten ausgangsseitig auf eine hochohmige Last. Allerdings hat sich die Elementzahl gegenüber vorher um 1 erhöht.

In der PERM wurde dieser Weg jedoch nicht beschritten, sondern ein Addierwerk verwendet, das eine aus Impulsgattern bestehende Übertragskette besitzt (Abb. 11) und wesentliche Vorteile gegenüber den beschriebenen Addierwerken aufweist. Es entstand durch Anwendung des Ausblendprinzips auf das mit Impulsverzögerungsgliedern arbeitende bekannte Paralleladdierwerk [3]; dadurch werden nicht nur alle Verzögerungsglieder vermieden, sondern bei geeigneter Dimensionierung auch die sonst nötigen Impulsformerschaltungen in der Übertragskette.

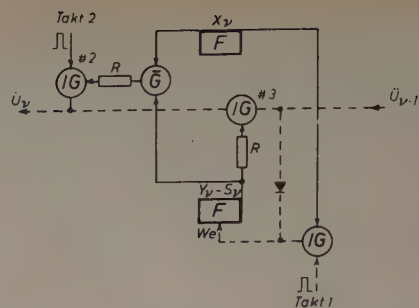


Abb. 11. 2-Takt-Addierwerk mit IG-Übertragskette

Dieses Addierwerk arbeitet folgendermaßen:

Beim 1. Additionstakt wird an alle  $IG \# 1$  des Addierwerkes ein Impuls gelegt und so ohne Übertrag addiert. Die Stellung  $X_v = L, Y_v' = 0$  vor dem 2. Additionstakt gibt das Kriterium eines hier entstehenden Übertrags. Dann ist  $G$  „erregt“ und öffnet  $IG \# 2$  für den 2. Taktimpuls, der dann als Übertragsimpuls in die Übertragskette läuft. Dort pflanzt er sich so weit fort, als er  $IG \# 3$  geöffnet findet und wechselt dabei die Stellung der  $Y-S-F$  aller durchlaufenen Stellen einschließlich der letzten, deren  $IG \# 3$  geschlossen ist. Unter Voraussetzung formgetreuer Impulsübertragung durch die Kette gewährleisten die Verzögerungsglieder  $\Delta t$  vor  $IG \# 2$  und  $IG \# 3$  entsprechend dem Prinzip der Ausblendschaltung sichere Arbeitsweise, wenn gleichzeitig mit dem an diesen  $IG$  anliegenden Taktimpuls die Stellung des steuernden  $F$  gewechselt wird.

Mehrere Vorteile zeichnen diese Schaltung gegenüber den vorstehenden aus:

Es sind nur mehr 6 Schaltkreiselemente pro Stelle nötig. Gegenüber Schaltung Abb. 9, bei der die gleiche Übertragungsfunktion durch Steuerungselemente besorgt wird, kommen 2 Elemente in Fortfall, da man zum Zusammenführen von 2 Leitungen, von denen nur eine das Übertragskriterium enthalten kann, in der Impulstechnik kein eigenes Element benötigt und auch der Negator wegfällt.

Es läßt sich eine viel kürzere Übertragszeit erzielen. Die Gründe dafür sind

1. Nur mehr ein Element pro Stelle in der Übertragskette.
2. Hochohmiger Eingang der  $IG$  in der Kette. Niederohmiger Ausgang infolge Übertrageranpassung.
3. Betrachtet man Röhren gleicher Leistung, so kann man dem Impulselement während seiner kurzen Aussteuerungszeit wesentlich mehr Leistung entziehen als dem Steuerungselement, dessen Röhrenschaltung ja auf Dauerstrom dimensioniert ist.

Schließlich bietet sich noch ein Vorteil in bezug auf die Arithmetik: Es läßt sich ohne weiteres der Inhalt des  $Y-S$ -Registers um 1 erhöhen, wie dies zur Rundung im Mantissenrechenwerk oder zur Erhöhung der Adresse im Adressenrechenwerk<sup>6)</sup> nötig ist. Es geschieht dies einfach durch Anlegen eines Impulses an das untere Ende der Übertragskette, verbunden mit einem Zustandswechsel des  $Y-S-F$  der letzten Stelle. (Bei den vorher behandelten Addierwerken ist das nur möglich, wenn man zuerst das  $X$ -Register löscht.)

Den erwähnten Vorteilen steht jedoch der Nachteil von wesentlich höheren technischen Anforderungen an das Übertragnetzwerk gegenüber.

Bei den Addierwerken mit Steuerungselementen im Übertragnetzwerk ist die Durchführung des Übertrags unkritisch. Man hat lediglich mit dem 2. Takt solange zu warten, bis sich sämtliche Spannungen im Netzwerk auf ihren Endwert eingestellt haben, wobei der zeitliche Verlauf der Einstellung ohne Bedeutung ist.

Beim Addierwerk mit  $IG$ -Übertragskette liegen dagegen  $q$   $IG$  in Reihe, die das Übertragskriterium — den Übertragsimpuls — formgetreu und sicher fortteilen müssen, im kritischsten Fall über die ganze Registerlänge hinweg.

Es ist darum nötig, die technische Realisierung des letztgenannten Addierwerkes genauer zu betrachten.

<sup>5)</sup> Das Zeichen  $\#$  kennzeichnet die darauffolgende Ziffer als Numerierung, die von den nicht in dieser Weise bezeichneten Rechengrößen zu unterscheiden ist

<sup>6)</sup> Näheres zur Funktion des Adressenrechenwerks vgl. [1]

#### 4. Untersuchung des Addierwerkes mit IG-Übertragskette

Aus einem Vergleich des Blockschaltbildes (Abb. 11) mit der Ausblendschaltung (Abb. 5) erkennt man, daß  $Y-S-F$  und  $IG \# 3$  jeder Stelle in grundsätzlich gleicher Art wie in der Ausblendschaltung miteinander verbunden sind. Wir haben also in der Übertragskette eine Hintereinanderschaltung der  $IG$  von  $q$  Ausblendschaltungen vor uns, die im kritischsten Falle alle geöffnet sind und die der Übertragsimpuls zur Gewährleistung sicherer Arbeitsweise möglichst unverzerrt, zur Erreichung kleiner Additionszeit möglichst rasch durchlaufen soll.

##### 4.1 Prinzip der sicheren und formgetreuen Fortleitung des Übertragsimpulses

Eine sichere, gegen Emissionsverlust der Impulsröhren weitgehend unabhängige Fortleitung des Übertragsimpulses erhält man nur dann, wenn der durchlaufende Impuls in jedem  $IG$  verbreitert und mit so großer Amplitude an das nachfolgende  $IG$  weitergegeben wird, daß er dort am Gitter begrenzt werden kann. Die Forderung nach Impulsverbreiterung schließt dabei die nach Übersteuerung in sich ein, da sich Impulsverbreiterung im  $IG$  nur dann erreichen läßt, wenn man es mit einem Impuls tastet, dessen Amplitude groß gegenüber dem Aussteuerbereich der Impulsröhre ist.

Die Forderung nach formgetreuer Impulsübertragung ist dadurch bedingt, daß die sichere Funktion der Ausblendschaltung auch auf der Einhaltung der richtigen Impulsbreite  $\tau$  beruht: Aus Abb. 6 ergibt sich hierfür die Bedingung  $\tau \leq \tau_{\text{off}}, \tau_{\text{sp}}$ . Deren Erfüllung ist aber in der Kette infolge der Forderung nach Impulsverbreiterung nicht ohne weiteres garantiert. Es ist daher der Impulsverbreiterung ein Einfluß entgegenzusetzen, der die Impulsbreite nach oben hin begrenzt. Dies kann entweder durch Impulsformerschaltungen geschehen, die in bestimmten Abständen in die Kette eingefügt werden, oder aber durch entsprechende Bemessung der Ausblendschaltungen, die dann selbst breitenbegrenzend wirken.

Nehmen wir an, in die geöffnete Übertragskette würde an eine Stelle ein sehr breiter Übertragsimpuls gelangen. Er kommt dabei gleichzeitig an den Eingang des  $IG \# 3$  und an das  $Y-S-F$  dieser Stelle und wechselt dessen Zustand, wodurch das  $IG \# 3$  nach der Verzögerungszeit  $\tau_{\text{sp}}$  geschlossen wird. Der Ausgangsimpuls dieses  $IG$  kann also niemals breiter als  $\tau_{\text{sp}}$  sein.

Betrachten wir nun einen Impuls, der mit der Breite  $\tau$  an dem Anfang einer geöffneten und sehr langen Übertragskette eintritt, so wird dieser von Stelle zu Stelle verbreitert, wobei aber die Verbreiterung infolge der durch die Ausblendschaltung einsetzenden Begrenzung ständig abnimmt und schließlich der Grenzwert der Impulsbreite  $\tau_{\text{sp}}$  erreicht wird. Kommt dieser Impuls dann an eine Stelle, deren  $Y-S-F$  auf 0 steht und das zugehörige  $IG \# 3$  sperrt, so muß hier der Durchlauf des Übertragsimpulses beendet sein: Es darf am Ausgang dieses  $IG$  kein Fehlimpuls durch verfrühtes Öffnen entstehen, d. h.  $\tau_{\text{off}}$  muß größer sein als  $\tau_{\text{sp}}$ .

Für die Anwendung der Ausblendschaltung zur Begrenzung der Impulsbreite gilt also die verschärfte Bedingung

$$\tau < \tau_{\text{sp}} < \tau_{\text{off}} \quad (\text{Erklärung der Bezeichnungen in Abb. 6}) \quad (1)$$

Da die Impulsverbreiterung nur vom Impulskanal der Übertragskette abhängt, die Impulsbreitenbegrenzung nur von der Steuerung der  $IG \# 3$  von den zugehörigen  $Y-S-F$ , können für die Dimensionierung beide Einflüsse unter Vernachlässigung der Wechselwirkung getrennt behandelt werden.

##### 4.2 Impulsverbreiterung in der Übertragskette

An Hand des hier interessierenden Schaltungsteiles des Addierwerkes (Abb. 12a) sollen der genaue Ablauf der Aussteuerung eines  $IG \# 3$  verfolgt und daraus Regeln für die Dimensionierung abgeleitet werden.

Legt man z. B. an den Eingang eines  $IG \# 2$  einen Rechteckimpuls von der Dauer  $\tau$ , der in dessen Impulsröhre einen Stromsprung  $i_0$  hervorrufen möge, so entsteht an dessen Anode ein negativer Impuls, der nach Umkehrung durch den Übertrager das nächstfolgende  $IG \# 3$  tastet. Die Spannung am Gitter der Impulsröhre des  $IG \# 3$  hat dabei folgenden Verlauf (Abb. 12b):

Bezeichnet man mit

$\ddot{u}$	das Übersetzungsverhältnis des umkehrenden Übertragers
$-U_{g0}$	die negative Gittervorspannung von $IG \# 3$
$C_{\#2, \#3}$	die Ausgangskapazitäten von $IG \# 2$ und $\# 3$
$C_{\ddot{u}1, \ddot{u}2}$	die primäre bzw. sekundäre Übertragerkapazität
$C_{\text{Ein}}$	die Eingangskapazität von $IG \# 3$
$C_F$	die Eingangskapazität des $F$
$i_0$	den Anodenstromsprung der treibenden Impulsröhre
$R'$	deren resultierenden Ausgangswiderstand,

so ist der erste Teil der Impulsvorderflanke bestimmt durch die Aufladung der gesamten Ausgangskapazität

$$C' = C_{\#2} + C_{\#3} + C_F + C_{\ddot{u}1} + \frac{C_{\ddot{u}2} + C_{\text{Ein}}}{\ddot{u}^2}$$

mit der Zeitkonstanten  $R'C'$  gegen den Endwert  $i_0 R'$ , bis die Spannung nach der Zeit  $\Delta t_1$  auf 0 angestiegen ist. Dabei wurde die verzögernde

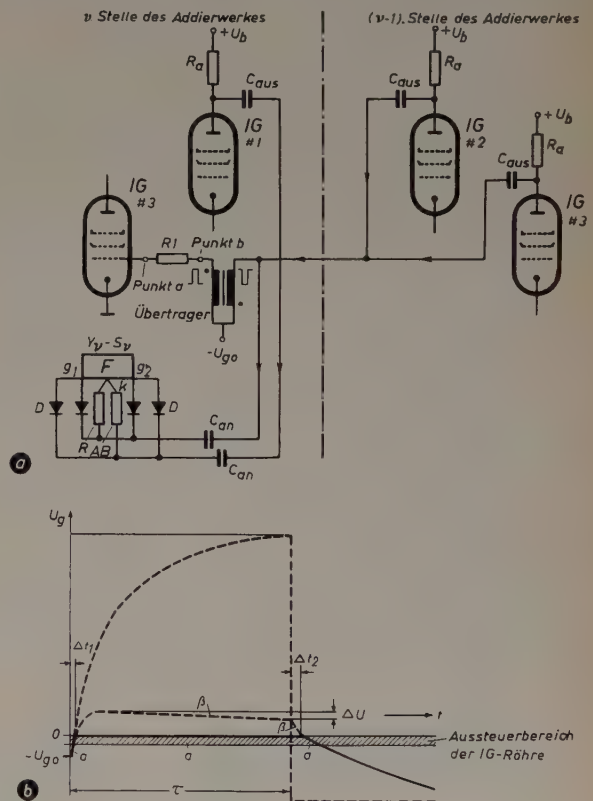


Abb. 12. (a) Detailbild der Impulswege einer Stelle des Addierwerkes mit  $IG$ -Übertragskette, (b) Verlauf der Aussteuerung eines Impulsgatters der Kette unter idealisierten Verhältnissen

Wirkung des Widerstandes  $R_1$  vernachlässigt. Da wir eingangs forderten, daß  $i_0 R' \gg \ddot{u} U_{g0}$  sein muß, brauchen wir nur das lineare Glied des exponentiellen Anstiegs zu berücksichtigen und finden

$$\begin{aligned} \Delta t_1 &= \frac{\ddot{u} U_{g0} R' C'}{i_0 R'} \\ &= \frac{\ddot{u} U_{g0}}{i_0} \left( C_{\#2} + C_{\#3} + C_F + C_{\ddot{u}1} + \frac{C_{\text{Ein}} + C_{\ddot{u}2}}{\ddot{u}^2} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

für  $i_0 R' \gg \ddot{u} U_{g0}$

Nach  $\Delta t_1$  tritt aber Gitterstrom auf, wobei vereinfachend angenommen werde, daß dann die Spannung am Gitter (Punkt a) nicht weiter ansteigt (ideale Begrenzung). Die Spannung vor der Begrenzerschaltung (Punkt b in Abb. 12a) steigt jedoch weiter, und zwar mit der Zeitkonstanten  $R''C''$  gegen den Endwert  $i_0 R''$ ;  $R''$  entsteht durch Parallelschaltung von  $R_1$  zu  $R'$ ,  $C''$  durch Subtraktion von  $C_{\text{Ein}}$  von  $C'$ , da  $C_{\text{Ein}}$  durch den Gitterstromersatz als kurzgeschlossen zu betrachten ist. Für das Impulsdach kann man aus Abb. 12b den wichtigen Schluß ziehen, daß nur dann Impulsverbreiterung zu erzielen

ist, wenn sich während der Impulsdauer Dachabfall infolge der unteren Grenzfrequenz des Übertragers und eventuell der Auskoppelkapazitäten der IG nur an Punkt *b* zeigt, nicht aber am Gitter (Punkt *a*).

Die Impulsrückflanke beginnt mit der Entladung von  $C''$  über  $R''$  an Punkt *b* gegen den Endwert  $-U_{go} - \Delta U$  ( $\Delta U$  ist der Dachabfall der Spannung an Punkt *b* während der Impulsdauer), bis dort die Spannung nach der Zeit  $\Delta t_2$  auf 0 abgesunken ist. Berücksichtigen wir wieder nur das lineare Glied des exponentiellen Abfalls, so ergibt sich

$$\Delta t_2 = \frac{C''}{i_0} (i_0 R'' - \ddot{u} U_{go} - \ddot{u} \Delta U) \quad (3)$$

$$\text{für } i_0 R'' - \ddot{u} U_{go} - \ddot{u} \Delta U < i_0 R''$$

Nach der Zeit  $\Delta t_2$  endet der Gitterstromfluß. Vernachlässigen wir wieder die verzögernde Wirkung von  $R_1$ , so geht jetzt die Entladung

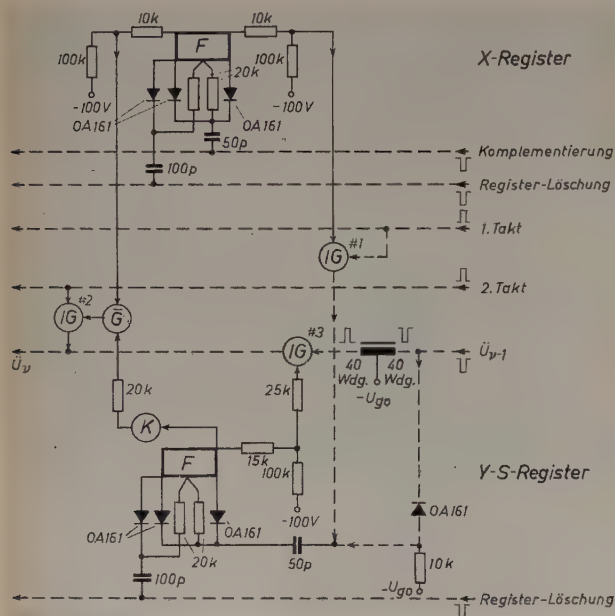


Abb. 13. Detailschaltbild einer Stelle des Paralleladdierwerks der PERM

von  $C'$  mit der Zeitkonstanten  $R'C'$  anfänglich gegen den Endwert  $-U_{go} - (\Delta U \cdot R'/R'')$  weiter, bis die Hauptinduktivität des Übertragers wieder stärker wirksam wird und die Spannungen an den Punkten *a* und *b* gegen  $-U_{go}$  zurückkehren.

Ausgangspunkt für die Bemessung ist die Forderung nach Impulsverbreiterung mit  $\Delta t_2 > \Delta t_1$  und der Wunsch nach möglichst kleinem  $\Delta t_1$ , da  $q \cdot \Delta t_1$  in erster Näherung die maximale Durchlaufdauer des Übertragsimpulses ausmacht. Nimmt man  $i_0$  und sämtliche Kapazitäten als gegeben an, so kann man durch Aufsuchen des Minimums von  $\Delta t_1$  das Übersetzungsverhältnis  $\ddot{u}$  bestimmen

$$\ddot{u} = \sqrt{\frac{C_{Ein} + C_{ü2}}{C_{\#2} + C_{\#3} + C_F + C_{ü1}}} \quad (4)$$

Das Minimum von  $\Delta t_1$  tritt also bei Kapazitätsanpassung auf. Erichtlich liegt  $\ddot{u}$  in der Größenordnung von 1, was zusammen mit den Eigenschaften der steilen Pentode im IG die oben getroffene Annahme rechtfertigt, man könne mit eingepprägtem Strom  $i_0$  rechnen. Führt man nun Beziehung (4) in (2) ein, so erhält man

$$\Delta t_1 = \frac{U_{go}}{i_0} \cdot 2 \cdot \sqrt{(C_{\#2} + C_{\#3} + C_F + C_{ü1}) (C_{Ein} + C_{ü2})} \quad (5)$$

Um  $\Delta t_2 > \Delta t_1$  zu erreichen, ist gemäß Gl. (3) der Dachabfall  $\Delta U$  klein zu halten und  $R''$  groß genug zu machen. Einen Anhaltspunkt für die erforderliche Größe von  $R''$  gewinnt man, wenn man vereinfachend in Gl. (2) und (3)  $C' = C''$  setzt und außerdem  $\Delta U$  vernachlässigt.

Dann folgt aus  $\Delta t_2 \geq \Delta t_1$

$$R'' \geq \frac{2 \ddot{u} U_{go}}{i_0} \quad (6)$$

Wie erinnlich, setzt sich  $R''$  aus der Parallelschaltung der Anodenwiderstände  $R_a$  von IG #2 und IG #3 sowie dem Begrenzungswiderstand  $R_1$  zusammen.

$R_1$  ist aber durch die Forderung nach schnellem Impulsflankenanstieg am Gitter der Impulsröhre begrenzt. Mit wachsendem  $R_1$  steigt die Umladezeit der Eingangskapazität der Röhre immer mehr an.

Für  $R_a$  gilt hingegen keine so strenge Bedingung. Die oberste Grenze ist hier durch den zulässigen Abfall der Anodenspannung infolge der Entladung des Auskoppelkondensators  $C_{Aus}$  des IG über  $R_a$  bei einer

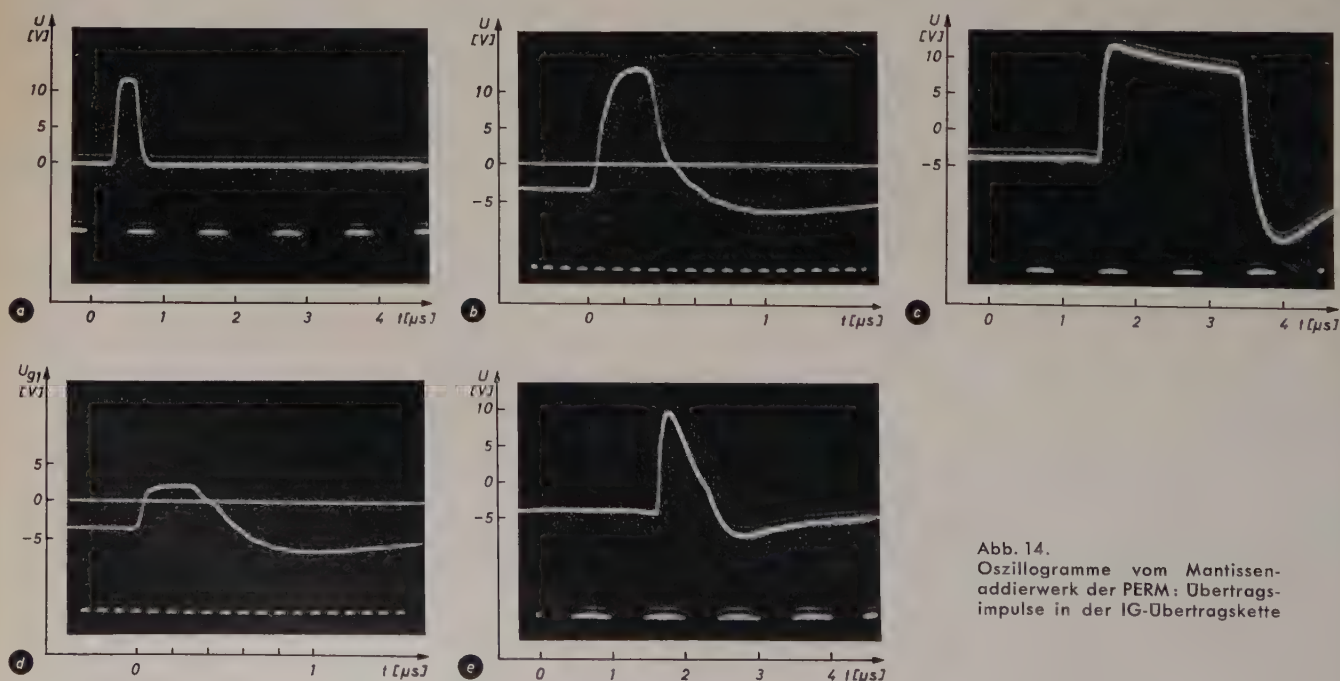


Abb. 14. Oszillogramme vom Mantissenaddierwerk der PERM: Übertragsimpulse in der IG-Übertragskette

Reihe von dicht aufeinanderfolgenden Additionen gegeben. Damit sind aber alle Größen bestimmbar.

### 4.3 Impulsbreitenbegrenzung in der Übertragskette

Soll die Begrenzung des Übertragsimpulses auf die höchstzulässige Breite  $\tau_{\text{off}}$  mit den Ausblendschaltungen der Kette selbst geschehen, so muß jede einzelne der oben aufgestellten Bedingungen (1) genügen. Unter den gleichen Voraussetzungen, die bei der Dimensionierung der Ausblendschaltung festgelegt wurden, ergibt sich dann unmittelbar aus Abb. 6 die Beziehung

$$U_{\text{off}} - U_{\text{sp}} \geq 2 (U_{\text{off}} - U_{\text{cs}})$$

d. h., der dem  $IG$  vom  $F$  zugeleitete Steuerspannungssprung muß mindestens doppelt so groß wie der kleinstmögliche Steuerspannungssprung sein.

Diese Bedingung bringt natürlich im Vergleich zur normalen Ausblendschaltung eine nicht unwesentliche Erhöhung der erforderlichen Anodensprungspannung des  $F$  mit sich, und es ist die Frage, ob man nicht lieber andere Impulsbegrenzer heranzieht, zumal es sich bei der Paralleladdition um eine Sonderaufgabe handelt.

## 5. Ergebnisse

Die PERM enthält 3 Paralleladdierwerke, und zwar ein Mantissen-, ein Exponenten-, und ein Adressenaddierwerk mit 41, 9, und 13 Stellen, die entsprechend der Schaltung nach Abb. 13 realisiert sind.

Um die Durchlaufzeit des Übertragsimpulses auf das Minimum zu bringen, müßte man nach Gl. (4) das Übersetzungsverhältnis des Übertragers zu  $\bar{u} = 0,7$  wählen, wenn man sämtliche vorkommenden Kapazitäten überschlägig gleichsetzt, da diese doch hauptsächlich von Schaltkapazitäten bestimmt werden. Tatsächlich wurde in der PERM  $\bar{u} = 1$  gesetzt. Der Übertrager wurde mit Bandringkern (Blechstärke 0,01 mm) und 4-Sektorenwicklung aufgebaut; bei einer Hauptinduktivität von etwa 5 mH ist die Streuinduktivität 15  $\mu\text{H}$ , die Wicklungskapazität  $C_{\bar{u}1} + C_{\bar{u}2} = 14 \text{ pF}$ .

Aus der Forderung nach Impulsverbreiterung ergibt sich mit  $U_{\text{go}} = 4 \text{ V}$ , der negativen Gittervorspannung von  $IG \# 3$  und  $i_0 = 10 \text{ mA}$ , dem Anodenstrom der treibenden  $IG$ -Röhre, aus (6)

$$R'' \geq 560 \Omega$$

Diese Bedingung erfüllt mit möglichst kleinem  $R_1$  — wodurch kurze Durchlaufzeit  $q\Delta t_1$  gesichert wird — die Dimensionierung mit  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  und  $R_a = 20 \text{ k}\Omega$ .

Der Spannungssprung am  $F$ -Spannungsteiler reicht an sich gerade aus, um die Breite der Übertragsimpulse in der Kette durch die Ausblendschaltung zu begrenzen ( $U_{\text{off}} = +1 \text{ V}$ ;  $U_{\text{sp}} = -50 \text{ V}$ ;  $U_{\text{cs}} = -25 \text{ V}$ ), doch sollen zur Erhöhung der Sicherheit noch zusätzliche Begrenzer eingebaut werden.

Durch die den  $Y$ - $S$ - $F$  nachgeschalteten  $K$  werden die mit hoher Eingangskapazität behafteten  $G$  nach dem 1. Additionstakt schnell umgeschaltet und so der zulässige Abstand zwischen 1. und 2. Takt verkürzt. 20-k $\Omega$ -Widerstände am Ausgang von  $K$  begrenzen dabei den Gitterstrom von  $G$  bei positivem  $K$ -Ausgangspotential. Zwischen  $G$  und  $IG \# 2$  ist im Gegensatz zu Abb. 11 kein  $RC$ -Glied nötig. Wie eine einfache Überlegung zeigt, überlagert sich bei verfrühtem Öffnen von  $IG \# 2$  während des 2. Taktimpulses lediglich der resultierende Fehlimpuls dem Übertragsimpuls. Vorzeitiges Sperren des  $IG \# 2$  wird aber infolge der Eigenträgheit von  $Y$ - $S$ - $F$  und  $G$  weitgehend verhindert und kann überdies wegen der Impulsverbreiterung in der Übertragskette wenig stören.

Um den Effekt der Impulsverbreiterung klar herauszustellen, wurde die so bemessene  $IG$ -Kette von den steuernden  $F$  getrennt und bei geöffneter Kette ein Impuls nach Abb. 14a an ihren Anfang gelegt. Das Aussehen dieses Übertragsimpulses zwischen Übertrager und Begrenzungswiderstand  $R_1$  der nächsten Stelle zeigt Abb. 14b, am Gitter der nächstfolgenden  $IG \# 3$ -Röhre Abb. 14c. Nach dem Durchlaufen von 40 Stellen ist die Breite des Impulses von 0,4 auf 2,0  $\mu\text{s}$  angewachsen, die Verzögerung seiner Anstiegsflanke gegenüber der des Eingangsimpulses beträgt 1,3  $\mu\text{s}$  (Abb. 14d). Damit ist  $\Delta t_1 = 32,5 \text{ ns}$   $\Delta t_2 = 72,5 \text{ ns}$ , was gut mit den errechenbaren Werten übereinstimmt.



Abb. 15. Ansicht des 41stelligen Mantissenaddierwerks der PERM, Frontansicht

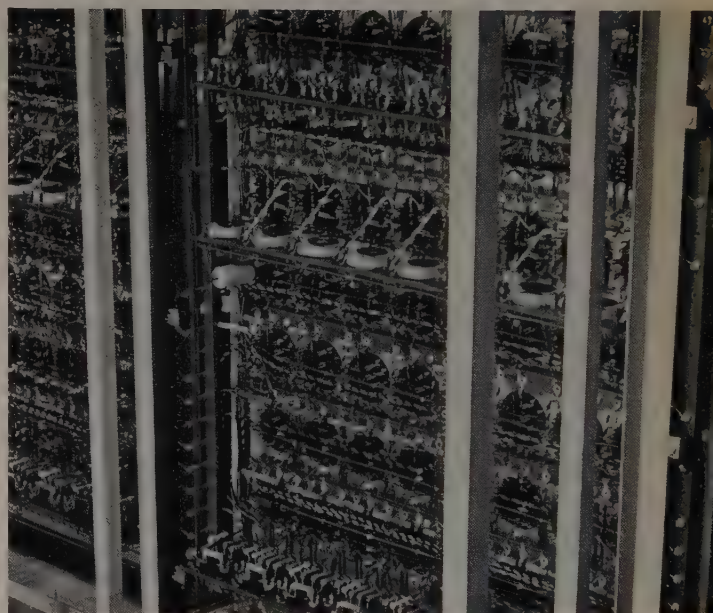


Abb. 16. Blick auf die Verdrahtung des Mantissenaddierwerks nach Abb. 15

Sind die Ausblendschaltungen angeschlossen, so geht die Verbreiterung von 2,0 auf 0,7  $\mu\text{s}$  zurück (Abb. 14e).

Die maximale Durchlaufverzögerung von 1,3  $\mu\text{s}$  beim 41stelligen Addierwerk ist außerordentlich gering, und es ist dem Verfasser keine Maschine bekannt, die mit einer kürzeren Zeit auskommt. Als unterste Grenze für den Impulsabstand wurde experimentell 1,4  $\mu\text{s}$  ermittelt, was zu einer vollen Additionsdauer von 2,8  $\mu\text{s}$  führt. Der technische Aufbau erfolgte mit Hilfe von Steckelementen. Abb. 15 zeigt die Frontansicht des 41stelligen Mantissenaddierwerkes. Die oberste Zeile enthält das Addendenregister, die 7. Zeile von oben das Augenden-Summenregister, die 3. bis 6. Zeile das Additionsnetzwerk. Einen Blick auf die Verdrahtung gibt Abb. 16. Deutlich zu erkennen sind regelmäßige Verdrahtung der einzelnen Stellen, Impulsübertrager und  $F$ -Ankopplungsschaltungen.

### Schrifttum

- [1] Piloty, H., Piloty, R., Leilich, H. O., Proebster, W. E.: Die programmgesteuerte Rechenanlage München (PERM). FTZ Bd. 8 (1955) (im Druck)
- [2] Piloty, R.: Die Dimensionierung der Eccles-Jordan-Schaltung. AEÜ Bd. 7 (1953) S. 537—545
- [3] ● Engineering Research Associates: High-Speed Computing Devices. New York 1950, McGraw-Hill Book Comp., Inc., S. 297
- [4] ● Mann, M. F., Rathborne, R. R., Bennett, J. B.: Whirlwind I Operation Logic. Digital Computer Laboratory. Massachusetts Inst. of Technology, Cambridge 1954

# Das Drucken der Resultate elektronischer Rechenanlagen

DK 681.142-83:681.62

Es werden die Voraussetzungen ermittelt, die von den Druckgeräten elektronischer Rechenanlagen erfüllt werden müssen. Die verfügbaren Druckmaschinen werden nach Arten getrennt beschrieben.

Die einzelnen Operationen der Rechenanlagen lassen sich in drei Gruppen zusammenfassen, die die Eingabe, die Verarbeitung und die Ausgabe von Daten bewirken. Die Verarbeitung von Daten umfaßt logistische und arithmetische Operationen und das Belegen und Ablesen von inneren Speichern.

Die Anwendung elektronischer Bauelemente hat die Rechen-, Speicher- und Leitwerke der automatischen Anlagen zur Verarbeitung von Daten mit einer sehr hohen Operationsgeschwindigkeit und entsprechend kurzen Operationszeiten ausgestattet. Wissenschaftliche und technische Aufgaben für die elektronischen Rechenanlagen sind dadurch gekennzeichnet, daß eine verhältnismäßig kleine Zahl von Angaben in umfangreichen Rechenoperationen zu einer verhältnismäßig kleinen Anzahl von Resultaten zu verarbeiten ist. Die Leistung der Eingabe- und Ausgabegeräte braucht meist nicht sehr groß zu sein, um mit dem Tempo des Rechenwerkes Schritt halten zu können. Bei statistischen Aufgaben und den Aufgaben des kaufmännischen Rechnungswesens liegen die Verhältnisse anders. Eine große Anzahl von Daten ist einzugeben und in verhältnismäßig wenigen Rechenoperationen zu einer großen Zahl von Resultaten zu verarbeiten. Bei solchen Aufgaben ist es grundsätzlich nicht möglich, die Niederschrift der einzugebenden Daten und den Druck der Resultate mit einer Geschwindigkeit vorzunehmen, die der Geschwindigkeit der elektronischen Operationen entspricht, wenn nicht besondere konstruktive und organisatorische Maßnahmen getroffen werden, um die Engpässe bei der Ein- und Ausgabe von Daten zu beseitigen.

Die konstruktiven Maßnahmen müssen auf eine Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit zielen; die Notwendigkeit, Massen zu beschleunigen und zu verzögern, setzt ihnen vorläufig eine enge Grenze, die nur mit optischen oder magnet-elektrischen Mitteln erweitert werden kann. Organisatorisch bieten sich zwei Maßnahmen an, die beide — teils gemeinsam, teils einzeln — schon verwirklicht wurden: der Anschluß mehrerer Eingabe- und Ausgabegeräte an ein zentrales Rechen- und Speicherwerk und die Abtrennung der Eingabe- und Ausgabegeräte vom zentralen Teil der Anlage. Im letzten Falle arbeiten die Rechen- und Speicherwerke stets nur von einem schnellen

Informationsträger (wie z. B. Magnetband) auf denselben Informationsträger; die Geräte für die Eingabe von Daten übertragen die Daten auf den schnellen Informationsträger; die Geräte für die Ausgabe entnehmen ihm die Resultate, unabhängig von der zentralen Anlage, der erst die fertig erstellte Information zugeführt bzw. entnommen wird. Die Zahl der Ein- und Ausgabegeräte kann hier beliebig vermehrt werden, so daß alle Engpässe wegfallen.

## Druckgeräte

Für die Ausgabe von Resultaten in gedruckter Form werden Schreibmaschinen, Tabelliermaschinen und Schnelldrucker verwandt.

### 1. Schreibmaschinen

Elektrische Schreibmaschinen, deren Tasten elektromagnetisch betätigt und von der Rechenanlage gesteuert werden, waren die ersten Druckgeräte dieser Anlagen. Sie werden einzeln oder in mehreren Exemplaren für das Drucken von Resultaten verwandt, wo ihre Leistung ausreicht. Außerdem finden sie als Kontrollgeräte in Verbindung mit den Bedienungspulten der elektronischen Anlagen Verwendung. Da jeweils nur ein einzelnes Symbol ausgeschrieben werden kann und hierbei erhebliche Massen zu bewegen sind, ist die Leistung der Schreibmaschinen auf etwa 10 Symbole/Sekunde begrenzt. Die Steuerung eines solchen Druckers erfolgt in einem Falle durch Magnetband.

### 2. Buchungsmaschinen

Neuerdings finden auch Buchungsmaschinen als Drucker Anwendung. Die Buchungsmaschine dient auch als Eingabegerät, so daß die Eingabe von Daten in die Rechenanlage gleichzeitig mit Buchungsvorgängen erfolgen kann. Die Leistung der Buchungsmaschinen als Drucker ist der der druckenden Schreibmaschinen ungefähr gleich.

### 3. Tabelliermaschinen

Die Tabelliermaschinen sind die Drucker der Lochkartenanlagen. Sollen sie als Drucker elektronischer Rechenanlagen dienen, dann müssen die zu druckenden Angaben in Lochkarten gestanzt werden, damit sie von der Tabelliermaschine niedergeschrieben werden können. Das Lochen der Karten kann nur verhältnismäßig langsam erfolgen und erfordert einen großen Kartenverbrauch. Die Leistung der Tabelliermaschinen ist bedeutend größer als die der Schreib- und Buchungsmaschinen, da alle Symbole in einer ganzen Zeile gleichzeitig gedruckt werden; sie beträgt 170 bis 250 Symbole/Sekunde. Allerdings vermindert sich die Leistung beträchtlich, wenn die Tabelliermaschinen auch Rechenoperationen ausführen müssen.

Es ist natürlich unzweckmäßig, Rechenoperationen von einer langsam rechnenden Tabelliermaschine ausführen zu lassen, wenn ein elektronisches Rechenwerk zur Verfügung steht. Deshalb werden schon seit einiger Zeit Tabelliermaschinen gebaut, die Resultate elektronischer Rechenanlagen nicht auf dem Umweg über die Lochkarte, sondern — von der Anlage direkt gesteuert — niederschreiben. Die zu druckenden Symbole befinden sich auf Typenstangen oder Typenrädern, deren Massen die Leistung der Maschinen begrenzen. Eine neue Konstruktion eines lochkartengesteuerten Druckers verwendet zur Herstellung der gedruckten Symbole je Symbol 35 Stifte kleiner Masse von kreisrundem Querschnitt, die in einer Matrix von 5 Reihen und 7 Spalten angeordnet sind. Das einzelne Symbol wird aus den Punkten zusammengesetzt, welche die ihm zugeordneten Stifte drucken. Die Leistung dieses Druckers beträgt 660 Symbole/Sekunde. Um zu gewährleisten, daß der Ist-Druck dem Soll-Druck entspricht, werden Tabelliermaschinen neuerdings auch mit Einrichtungen zur automatischen Kontrolle des Druckes ausgerüstet.

### 4. Schnelldrucker

Als Schnelldrucker soll ein Drucker großer Leistung definiert werden, der nur druckt und von einer Rechenanlage direkt oder durch Zwi-

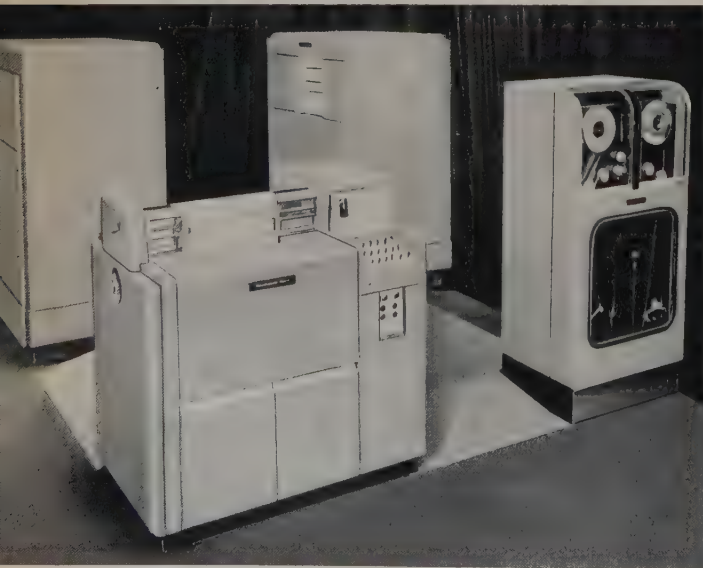


Abb. 1. „Univac“-Schnelldrucker von Remington Rand mit Magnetband-Lesegerät, Steuergerät und Stromversorgung

schenschaltung eines schnellen Informationsträgers so gesteuert wird, daß die Arbeitsgeschwindigkeit des Rechenwerkes durch den Druckvorgang nicht gehemmt wird. Drucker dieser Art sind Geräte, die speziell für elektronische Rechenanlagen entwickelt werden; sie unterscheiden sich sowohl konstruktiv wie auch in ihrer Leistung erheblich von den bisherigen Tabelliermaschinen. Die Beschreibung dieser Geräte muß sich auf den einzigen Schnelldrucker beschränken, der erprobt und lieferbar ist.

Der Schnelldrucker, der als Ausgabegerät für die Rechenanlagen gebaut wird, die unter dem Namen „Univac“-Systeme zusammengefaßt werden, wird vom Magnetband gesteuert (Abb. 1)<sup>1)</sup>. Der Drucker bildet mit einem Magnetbandlesegerät („Uniservo“), einem Stromversorgungs- und Steuergerät und einem Gerät, das den Speicher für den Text einer Zeile, die Schalttafel für die Druckanordnung und die Schaltung für die Druckhammerbetätigung enthält, eine Gruppe von vier Einheiten, die von der zentralen Rechenanlage vollkommen unabhängig sind. Wenn die Leistung eines Schnelldruckers nicht ausreicht, dann können weitere Drucker unabhängig von der Rechenanlage betrieben werden. Die zu druckenden Texte werden von der zentralen Rechenanlage auf Magnetband geschrieben, das automatisch auf Rollen aufgespult wird; die fertige Rolle wird abgenommen und in den „Uniservo“ des Druckers eingesetzt.

Die Anordnung des Druckes auf dem Papier wird durch eine auswechselbare Schalttafel gesteuert, so daß keine Programmierung der Druckanordnung notwendig ist. Außerdem kann durch entsprechenden Stecken in die Schalttafel die Unterdrückung linksseitiger Nullen, Mehrfachdruck in einer Zeile und Mehrzeilendruck bewirkt werden. Der Papiervorschub wird durch ein endloses Lochband gesteuert; die Vorschubgeschwindigkeit beträgt 500 mm/s. Die Druckzeile ist 130 Spalten breit, die Papierbreite beträgt 100 bis 710 mm. Die 51 verschiedenen Drucksymbole sind auf dem Umfang von Typenrädern angeordnet, von denen je eines einer Druckspalte zugeordnet ist. Die Typenräder sind auf einer gemeinsamen Welle, die mit konstanter Geschwindigkeit umläuft, starr befestigt, so daß sie mit ihr eine einzige Typenwalze bilden. Die Typenwalze führt außer der Rotationsbewegung keine andere Bewegung aus. Wenn ein in einer bestimmten Spalte zu druckendes Symbol eines Typenrades dem nagelförmigen Hammer gegenübersteht, der den Druck des Symbols bewirkt, dann

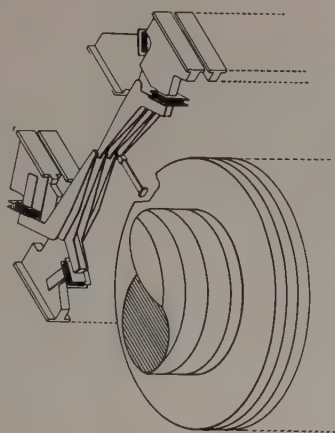


Abb. 2. Druckmechanismus des „Univac“-Schnelldruckers. Von den 130 Einheiten für den Druck einer Zeile sind 6 benachbarte Elektromagnete mit den zugehörigen Kipphebeln und dem Druckhammer eines Magneten dargestellt

wird dieser Hammer über einen Elektromagneten und Hebel auf die Rückseite des Papiers geschlagen, das Papier an dieser Stelle gegen die zu druckende Type gedrückt und so der Druck auf der Vorderseite des Papiers bewirkt (Abb. 2). Zwischen den benachbarten Typen eines Typenrades und zwischen denen verschiedener Typenräder sind Zwischenräume angeordnet, damit nur der Soll-Buchstabe gedruckt wird (Abb. 3). Im rechten Teil der Abbildung befindet sich ein optisch arbeitender Typenzeiger, der das jeweils in Druckstellung befindliche Symbol in einen Vergleichsspeicher überträgt. In diesem Speicher wird das zu druckende Symbol mit dem druckbereiten Symbol verglichen; erst bei Übereinstimmung wird der zugehörige Druckhammer

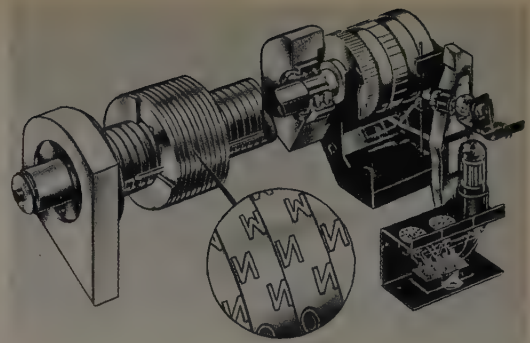


Abb. 3. Typenwalze des „Univac“-Schnelldruckers mit optisch-elektronischem Typenzeiger. Vergrößerung im Kreis zeigt die Typenanordnung auf benachbarten Typenrädern der Typenwalze (alle Räder starr mit der Walze verbunden)

betätigt, während die Typenwalze weiterläuft (Abb. 4). Hierdurch wird automatisch gewährleistet, daß der richtige Hammer betätigt wird und Druckfehler ausgeschlossen sind. Mit einem Echoimpuls, den der bewegte Hammer auslöst, läßt sich auch noch automatisch prüfen, ob der kommandierte Hammer tatsächlich angeschlagen hat.

Der „Univac“-Schnelldrucker hat drei Druckgeschwindigkeiten; die maximale beträgt 36000 Zeilen in der Stunde mit 130 Symbolen je Zeile; bezogen auf die Zahl der gedruckten Symbole, die die beste Kennzahl für den Vergleich der Leistung verschiedener Drucker ist, beträgt seine Leistung also 1300 Symbole in der Sekunde.

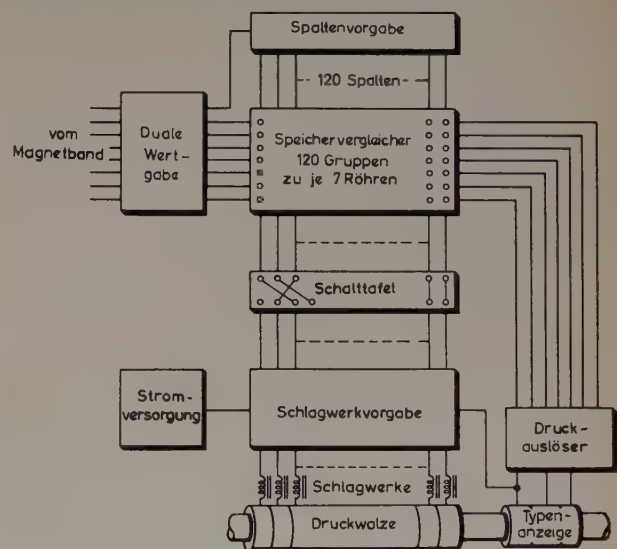


Abb. 4. Prinzipschema des „Univac“-Schnelldruckers

Bei der Konstruktion des Schnelldruckers ist das Baukastenprinzip konsequent angewandt worden, damit Schäden schnell behoben werden können. Der gesamte Druckmechanismus kann z. B. innerhalb einer Minute ausgewechselt werden.

\*

Die Entwicklung der Schnelldrucker hat erst begonnen. Ihre Leistung wird sich mit mechanischen Mitteln kaum erheblich steigern lassen. Nur die Anwendung von Druckelementen kleinster Massenträgheit läßt einen erheblichen Fortschritt über den heutigen Stand der Technik hinaus erwarten.

#### Schrifttum

- [1] Masterson, E., u. Pressman, A.: A Self-Checking High-Speed Printer. Proc. of the Eastern Joint Computer Conference (The amer. Inst. of electr. Eng.)
- [2] Orden, A.: Application of the Burroughs E 101 Computer. Proc. of the Eastern Joint Computer Conference (The amer. Inst. of electr. Engs.)

<sup>1)</sup> Hersteller Remington Rand

# Die Anwendung des Elektronenrechners »GAMMA 3« zur Lösung komplizierter mathematischer Probleme

DK 681.142-83:512.37

Der Elektronenrechner „GAMMA 3 B“ ist universell in dem Sinne, als er nicht nur für kommerzielle Berechnungen eingesetzt wird, also für Aufgaben, wie sie das Rechnungswesen moderner Industriebetriebe stellt, sondern auch zur Lösung komplizierter mathematischer Probleme dient.

Beim Einsatz auf dem wirtschaftlichen Sektor werden gewöhnlich nur wenige und einfache Rechenschritte durchgeführt, die allerdings in großer Zahl auftreten. Bei mathematischen Aufgaben hingegen werden die gegebenen Ausgangswerte oft sehr langwierigen Rechenprozessen unterworfen, die sich zudem in bestimmten Abschnitten zyklisch wiederholen. Die hierbei erforderliche Kapazität zur Aufnahme einer sehr großen Zahl von Programmbefehlen reicht bei den gewöhnlichen Rechenautomaten nicht aus. Ein Zusatz-Aggregat — die sogenannte Programmkarteneinrichtung — ermöglicht es dem „GAMMA 3 B“, Programmbefehle in praktisch unbegrenzter Anzahl zu verarbeiten.

1. Aufgabenstellung

Arbeitsweise und Programmierungsprinzip des „GAMMA 3 B“ sollen in kurzen Zügen bei der Lösung einer Gleichung 8. Grades erläutert werden.

Gegeben ist also das Polynom

$$P(z) = a_0z^8 + a_1z^{7-1} + a_2z^{6-2} + \dots + a_{n-1}z + a_n \tag{1}$$

mit reellen Koeffizienten  $a_k$  für  $n = 8$ . Gesucht sind die Wurzeln  $z_1$  bis  $z_8$ .

2. Mathematische Vorarbeit

Voraussetzung ist das Auffinden einer Lösungsmethode, die den Eigenarten des Elektronenrechners entspricht. Das bedeutet die Zurückführung aller komplizierten Rechenmethoden auf die 4 Grundrechenarten. Wurzelziehen, Berechnung trigonometrischer Funktionen

usw. erfolgt durch Näherungsverfahren bzw. durch Reihenentwicklung. Im vorliegenden Fall wird  $P(z)$  durch eine quadratische Gleichung

$$Y = z^2 + pz + q \tag{2}$$

dividiert.

Man erhält ein Polynom

$$Q(z) = b_0z^{n-2} + b_1z^{n-3} \dots + b_{n-2} + \frac{b_{n-1}z + b_n}{z^2 + pz + q} \tag{3}$$

mit einem gebrochenen Restglied, das so lange  $\neq 0$  ist, als die Wurzeln der quadratischen Gleichung nicht auch Wurzeln von  $P(z)$  sind.

Nach einem iterativen Verfahren werden nun solche Parameter  $p$  und  $q$  der quadratischen Gleichung gesucht, die einem Lösungspaar  $z_1$  und  $z_2$  von  $Y$  und  $Q(z)$  entsprechen.

Die Formeln dafür lauten:

$$p_{n+1} = p_n + d(p_n); (p_0=0) \tag{4a}$$

$$q_{n+1} = q_n + d(q_n); (q_0=0) \tag{4b}$$

mit

$$d(p_n) = \frac{b_{n-1} \cdot c_{n-2} - b_n \cdot c_{n-3}}{D} \tag{5a}$$

$$d(q_n) = - \frac{(b_{n-1} \cdot c_{n-1} - b_n \cdot c_{n-2})}{D} \tag{5b}$$

wobei

$$D = c_{n-2}^2 - c_{n-1} \cdot c_{n-3} \tag{6}$$

ist und die  $c_k$  die Koeffizienten des Polynoms

$$\frac{Q(z)}{z^2 + pz + q} = P_1(z) \tag{7}$$

darstellen, also eines Polynoms vom Grade  $(n - 4)$ .

Aufgabe		Lösung einer Gleichung 8. Grades										1	
		AS	CF	AD	BA	BE	Operator	VS	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	1	2
Eingabe der Koeffizienten A1 bis A4.	9	1											
	8		6	3									
			8	8									
			6	8									
			8	9									
			6	5									
			8	10									
	7		6	6									
			8	11									
			3	3									
Eingabe der Koeffizienten A5 bis A8			3	4									
			3	5									
	6	2											
	5		3	14									
			4	14		1							
			4	14	1	5							
	4	1	4	14	10	1							

Abb. 1. Erster Teil des Entwicklungsschemas für die Auflösung einer Gleichung 8. Grades

	OT	AD	BA	BE	OT	AD	BA	BE	OT	AD	BA	BE	OT	AD	BA	BE
	5421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421
	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421
0000000000000000	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421
1111111111111111	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421
2222222222222222	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421
3333333333333333	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421
4444444444444444	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421
5555555555555555	84	1	1	1	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421
6666666666666666	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421
7777777777777777	8	1	1	1	421	4	1	1	84	1	1	1	84	1	1	1
8888888888888888	8	1	1	1	421	4	1	1	8	1	1	1	8	1	1	1
9999999999999999	9	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421	8421

Abb. 2. Programmkarte mit den dual verschlüsselten, aus dem Entwicklungsschema (Abb. 1) entnommenen Befehlen

### 3. Programmierung

Nach der Rückführung eines komplizierten Rechenverfahrens auf die Grundrechenarten erfolgt das eigentliche Programmieren. Hier werden die durch die mathematischen Formeln vorgeschriebenen einzelnen Schritte in der Reihenfolge, in der sie durchgeführt werden sollen, in die „Sprache“ des Elektronenrechners übertragen. Der „GAMMA 3 B“ kennt 15 Grundoperationen (Operationstypen OT), die durch Zahlen von 1...15 verschlüsselt sind.

Einige Beispiele:

OT 3 = Löschen eines Speichers

OT 9 = Vergleich zweier Zahlen

OT 10 = Addition

OT 11 = Subtraktion

OT 12 = Multiplikation

OT 13 = Division

Daneben gibt es noch eine Reihe von Spezialoperationen.

Zur vollständigen Kennzeichnung eines Operationstyps gehören 4 Zahlen. Die erste gibt den eigentlichen Operationstyp an, die zweite die Nummer des Speichers, der in die Operation einbezogen wird, die letzten beiden bestimmen die genaue Stellung der Zahl im Speicher. Beispielsweise bedeutet 10 7 3 8: Eine im Speicher 7 in den Stellen 3...8 stehende Zahl soll zu einer Zahl, die sich im Rechenpeicher be-

findet, addiert werden. Hierbei ist zu bemerken, daß von allen Speichern des Elektronenrechners einer besonders dadurch ausgezeichnet ist, daß in ihm sämtliche Operationen durchgeführt werden. Dieser heißt Rechenpeicher, die anderen Normalspeicher. Es genügt also, nur die Nummer des Normalspeichers anzugeben, weil der Rechenpeicher bereits festliegt.

9 4 1 5: Eine im Speicher 4 in den Stellen 1...5 stehende Zahl soll mit einer im Rechenpeicher vorhandenen Zahl verglichen werden.

6 3 — —: Eine im Speicher 3 stehende 12stellige Zahl (die letzten beiden Leerstellen deuten an, daß der Speicher vollständig besetzt ist) soll in den Rechenpeicher übertragen werden. (OT = 6 bedeutet die Übertragung einer in einem Normalspeicher stehenden Zahl in den Rechenpeicher.)

Abb. 1 stellt den ersten Teil des Entwicklungsschemas für die Auflösung der Gleichung 8. Grades

$$Y = x^8 + 0,0485650393 x^7 + 2,31566719 x^6 + 0,0152635247 x^5 + 1,88952169 x^4 + 0,00191845216 x^3 + 0,659403422 x^2 + 0,000170733398 x + 0,0869128559$$

	Exponent	Exponent	Exponent	Exponent	Exponent	Exponent	Exponent	Exponent	Exponent
0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000	0000000000000000
1111111111111111	1111111111111111	1111111111111111	1111111111111111	1111111111111111	1111111111111111	1111111111111111	1111111111111111	1111111111111111	1111111111111111
2222222222222222	2222222222222222	2222222222222222	2222222222222222	2222222222222222	2222222222222222	2222222222222222	2222222222222222	2222222222222222	2222222222222222
3333333333333333	3333333333333333	3333333333333333	3333333333333333	3333333333333333	3333333333333333	3333333333333333	3333333333333333	3333333333333333	3333333333333333
4444444444444444	4444444444444444	4444444444444444	4444444444444444	4444444444444444	4444444444444444	4444444444444444	4444444444444444	4444444444444444	4444444444444444
5555555555555555	5555555555555555	5555555555555555	5555555555555555	5555555555555555	5555555555555555	5555555555555555	5555555555555555	5555555555555555	5555555555555555
6666666666666666	6666666666666666	6666666666666666	6666666666666666	6666666666666666	6666666666666666	6666666666666666	6666666666666666	6666666666666666	6666666666666666
7777777777777777	7777777777777777	7777777777777777	7777777777777777	7777777777777777	7777777777777777	7777777777777777	7777777777777777	7777777777777777	7777777777777777
8888888888888888	8888888888888888	8888888888888888	8888888888888888	8888888888888888	8888888888888888	8888888888888888	8888888888888888	8888888888888888	8888888888888888
9999999999999999	9999999999999999	9999999999999999	9999999999999999	9999999999999999	9999999999999999	9999999999999999	9999999999999999	9999999999999999	9999999999999999

Abb. 3. Faktorenkarte mit den in die Rechnung einzubeziehenden Eingangszahlenwerten

A 1	4 8 5 6 5 0 3 9 3	4 9	A 2	2 3 1 5 6 6 7 1 9	5 1	A 3	1 5 2 6 3 5 2 4 7	4 9	A 4	1 8 8 9 5 2 1 6 9	5 1
A 5	1 9 1 8 4 5 2 1 6	4 8	A 6	6 5 9 4 0 3 4 2 2	5 0	A 7	1 7 0 7 3 3 3 9 8	4 7	A 8	8 6 0 1 2 8 5 5 9	4 9
						P			Q		
						P 0	1 2 0 5 7 9 2 3 2	4 7	Q	1 3 0 4 4 0 4 4 6	5 0
						P	1 9 4 7 9 7 8 7 0	4 6	Q	2 2 9 4 2 8 8 6 0	5 0
						P 0	2 3 8 8 9 1 1 8 5	4 8	Q	3 1 1 3 4 6 8 8 8	5 0
						P 0	3 2 4 3 3 4 2 5 6	4 9	Q	4 0 3 8 9 8 7 2 9	5 0
						P 0	2 5 5 1 5 5 7 6 1	5 0	Q	3 8 7 1 9 3 7 2 5	5 0
						P 0	1 9 4 1 4 0 8 2 8	5 0	Q	3 8 6 1 5 2 3 7 8	5 0
						P 0	1 7 2 0 8 6 7 4 6	5 0	Q	3 8 0 7 9 9 2 0 1	5 0
						P 0	1 7 1 1 5 9 0 2 1	5 0	Q	3 7 9 5 1 2 6 8 7	5 0
						P 0	1 7 1 1 7 8 0 8 4	5 0	Q	3 7 9 5 1 6 3 3 4	5 0
						P 0	1 7 1 1 7 8 0 5 8	5 0	Q	3 7 9 5 1 6 3 5 4	5 0
						P 0	1 7 1 1 7 8 0 9 4	5 0	Q	3 7 9 5 1 6 3 4 5	5 0
						P 0	1 7 1 1 7 8 0 8 5	5 0	Q	3 7 9 5 1 6 3 4 6	5 0
						P 0	1 7 1 1 7 8 1 3 0	5 0	Q	3 7 9 5 1 6 3 3 1	5 0
						P 0	1 7 1 1 7 8 0 9 4	5 0	Q	3 7 9 5 1 6 3 3 8	5 0
						P 0	1 7 1 1 7 8 0 9 0	5 0	Q	3 7 9 5 1 6 3 4 5	5 0
						P			Q		
						P	4 3 9 7 5 4 3 0 4	4 9	Q	1 8 7 1 9 0 0 2 6	5 0
						P	9 5 0 4 8 0 5 4 8	4 9	Q	3 0 8 9 4 1 7 4 3	5 0
						P	1 7 3 4 7 5 4 4 5	5 0	Q	3 7 6 5 1 2 9 9 3	5 0
						P	2 2 3 9 8 4 1 1 6	5 0	Q	3 7 3 2 0 1 4 0 0	5 0
						P	2 1 9 3 1 4 4 1 6	5 0	Q	3 7 3 5 1 7 6 0 7	5 0
						P	2 1 9 2 7 1 3 4 4	5 0	Q	3 7 3 5 2 5 4 8 5	5 0
						P	2 1 9 2 7 1 3 2 4	5 0	Q	3 7 3 5 2 5 4 8 2	5 0
						P	2 1 9 2 7 1 3 5 5	5 0	Q	3 7 3 5 2 5 4 9 2	5 0
						P	2 1 9 2 7 1 3 4 2	5 0	Q	3 7 3 5 2 5 4 8 7	5 0
						P	2 1 9 2 7 1 3 5 0	5 0	Q	3 7 3 5 2 5 4 8 9	5 0
						P	2 1 9 2 7 1 3 4 7	5 0	Q	3 7 3 5 2 5 4 9 0	5 0
						P	2 1 9 2 7 1 3 4 2	5 0	Q	3 7 3 5 2 5 4 8 7	5 0
						P	2 1 9 2 7 1 3 5 0	5 0	Q	3 7 3 5 2 5 4 8 9	5 0
						P	2 1 9 2 7 1 3 4 7	5 0	Q	3 7 3 5 2 5 4 9 0	5 0
						P	2 1 9 2 7 1 3 4 2	5 0	Q	3 7 3 5 2 5 4 8 7	5 0
						P	2 1 9 2 7 1 3 5 0	5 0	Q	3 7 3 5 2 5 4 8 9	5 0
						P			Q		
						P 0	5 0 9 2 3 8 8 6 7	4 9	Q	3 7 6 6 0 1 1 5 9	5 0
						P 0	1 1 5 3 7 2 9 0 3	5 0	Q	5 4 1 4 3 6 7 1 3	5 0
						P 0	1 6 6 6 0 6 9 7 1	5 0	Q	5 7 6 9 4 5 5 3 0	5 0
						P 0	1 7 0 8 8 4 7 3 4	5 0	Q	5 7 5 9 6 1 2 8 6	5 0
						P 0	1 7 0 8 6 1 7 7 1	5 0	Q	5 7 5 9 7 6 9 0 3	5 0
						P 0	1 7 0 8 6 1 7 7 5	5 0	Q	5 7 5 9 7 6 9 0 9	5 0
						P 0	1 7 0 8 6 1 7 6 9	5 0	Q	5 7 5 9 7 6 9 0 5	5 0
						P 0	1 7 0 8 6 1 7 7 1	5 0	Q	5 7 5 9 7 6 9 0 6	5 0
						P 0	1 7 0 8 6 1 7 7 2	5 0	Q	5 7 5 9 7 6 9 0 6	5 0
						P 0	1 7 0 8 6 1 7 7 1	5 0	Q	5 7 5 9 7 6 9 0 6	5 0
						P 0	1 7 0 8 6 1 7 7 2	5 0	Q	5 7 5 9 7 6 9 0 6	5 0
						P 0	1 7 0 8 6 1 7 7 1	5 0	Q	5 7 5 9 7 6 9 0 6	5 0
						P 0	1 7 0 8 6 1 7 7 2	5 0	Q	5 7 5 9 7 6 9 0 6	5 0
						P 0	1 7 0 8 6 1 7 7 1	5 0	Q	5 7 5 9 7 6 9 0 6	5 0
						P 0	1 7 0 8 6 1 7 7 1	5 0	Q	5 7 5 9 7 6 9 0 6	5 0
						P	1 7 1 3 3 3 5 5 0	5 0	Q	1 0 5 3 4 3 4 5 8	5 1
									A 8	8 6 0 1 2 8 5 5 8	4 9
X	8 5 4 3 0 8 8 5 5	4 9	Y	J 7 5 4 1 0 7 7 3 1	5 0						
X	0 8 5 6 6 6 7 7 5 0	4 9	Y	J 1 0 2 2 7 8 8 1 9	5 1						
A 1	4 8 5 6 5 0 3 9 0	4 9									

Abb. 4. Ergebnis einer Gleichung 8. Grades

dar. Es werden der Reihe nach die Koeffizienten der Gleichung in die Speicher eingegeben. Die Spalten 1—7 bezeichnen die 7 Speicher des Elektronenrechners. Für die Speicherung weiterer Werte lassen sich an das Standard-Rechenaggregat 3 Speicherschranken mit jeweils 8 zwölfstelligen Speichern anschließen. Diese Speicher werden der Reihe nach mit

108—115

208—215

308—315

bezeichnet, wobei die erste Ziffer die Nummer des Anschlußschrankes, die letzten beiden Ziffern die Nummer des Speichers angeben. Beispielsweise bedeutet A 2 in Spalte 4, daß der Koeffizient des Gliedes  $x^6$ , also der Wert 2,31566719 in Speicher 4 steht.

Die „1“ in Spalte AS gibt an, daß der Anschlußschrank 1 in die Rechnung einbezogen wird.

Es wurde bereits angedeutet, daß ein vollständiger Operationsbefehl aus einer Kombination von 4 Zahlen besteht. Diese werden in die Spalten

OT = Operationstyp

AD = Adresse

BA = Befehl-Anfang

BE = Befehl-Ende

eingetragen.

Die einzelnen Operationsschritte bedeuten:

6 3 — — Eine im Speicher 3 befindliche Zahl wird in den Rechenspeicher (S 1) übertragen.

8 8 — — Übertrag einer im Rechenspeicher stehenden Zahl in den Speicher 8 des Anschlußschrankes 1.

Man erkennt, daß mit den ersten Operationsbefehlen die eingegebenen Werte in den Anschlußschrank 1 übertragen werden, wobei der Transport immer über den Rechenspeicher erfolgen muß.

3 3 — — Löschen des Speichers 3 (OT = 3 = Löschbefehl)

3 4 — — Löschen des Speichers 4 usw.

Die Zahlen in der Spalte PM interessieren in diesem Zusammenhang nicht. Die Eingabezeit der 8 zwölfstelligen Werte beträgt etwa 0,8 s. Bei mathematischen Berechnungen genügen die beiden ersten Zahlen zur Kennzeichnung eines Operationstyps, da hier die Splittung<sup>1)</sup> fortfällt und jeweils ein 12stelliger Speicher durch eine Zahl besetzt ist. Wir bedienen uns dabei der halblogarithmischen Darstellung der Zahlen.

<sup>1)</sup> vgl. Machery, R.: Speicherschwingkreise und Daten-Ein- und -Ausgabe beim BULL-Elektronenrechner GAMMA 3. ELEKTRONISCHE RUNDSCHAU Bd. 9 (1955) Nr. 10, S. 369

Die Zahl 35,769 kann auf folgende Arten geschrieben werden:

$$35,769 = 0,35769 \times 100 = 0,35769 \times 10^2$$

Wir addieren zu dem Exponenten 2 in jedem Falle 50, so daß wir folgende Darstellungen hätten:

$$35,769 = 0,35769 \times 10^{52}$$

(Die Addition erfolgt, um negative Exponenten zu vermeiden.)

Für mathematische Arbeiten werden die Stellen eines Speichers folgendermaßen aufgeteilt:

1 Stelle für das Vorzeichen (eine negative Zahl wird durch eine 0 gekennzeichnet, eine positive Zahl durch das Fehlen der 0).

9 Stellen für die Wertziffer.

2 Stellen für den Exponenten.

#### Beispiele

Zahl	Vorzeichen	Darstellung im Speicher	
		Wert	Exponent
0,35769	Leerstelle	3 5 7 6 9 0 0 0 0	50
3,5769	Leerstelle	3 5 7 6 9 0 0 0 0	51
-35,769	0	3 5 7 6 9 0 0 0 0	52
357,69	Leerstelle	3 5 7 6 9 0 0 0 0	53

Bei einer Rechenoperation, z. B. Multiplikation zweier Zahlen, werden Vorzeichen und Exponent des Ergebnisses automatisch errechnet. Der Exponent gibt dann die richtige Kommastellung an (Rechnen mit gleitendem Komma).

#### 4. Programmkarten

Aus dem Entwicklungsschema werden die Befehle im Dualsystem verschlüsselt auf besondere Lochkarten, die sogenannten Programmkarten, übertragen (Abb. 2).

Eine solche Programmkarte kann maximal 72 Befehle enthalten. Sie wird bei Anschluß des Elektronenrechners an die Tabelliermaschine in 0,4 s ausgewertet. Nach Erstellung der Programmkarten werden die in die Rechnung einzubeziehenden Eingangswerte in sogenannte Faktorenkarten gelocht (Abb. 3), die an der ihnen zukommenden Stelle zwischen die Programmkarten gemischt werden.

Das Ergebnis einer Gleichung 8. Grades zeigt Abb. 4. A 1 bis A 8 sind die Koeffizienten, P und Q die gegen bestimmte Werte konvergierender Parameter. Die Lösungen sind links herausgeschrieben und lauten der Reihe nach:

$$\begin{aligned} z_{1,2} &= 0,0855890450 \pm 0,610074472 i \\ z_{3,4} &= -0,109635675 \pm 0,601253280 i \\ z_{5,6} &= 0,0854308885 \pm 0,754107731 i \\ z_{7,8} &= -0,0856667750 \pm 1,02278819 i \end{aligned}$$

Zur Kontrolle werden nach dem Vietaschen Wurzelsatz die Summe und das Produkt der Wurzeln errechnet. Diese müssen mit den Koeffizienten A 1 und A 8 übereinstimmen. In der letzten Zeile der Abb. 4 sind diese Werte noch einmal herausgeschrieben, und man kann die gute Übereinstimmung mit den Ausgangswerten A 1 und A 8 feststellen.

Die Lösung der hier dargestellten Aufgabe nimmt auf dem „GAMMA 3 B“ etwa 3 Minuten in Anspruch. Es genügt ein Auswechseln der Faktorenkarten, um die Wurzeln einer neuen Gleichung zu berechnen.

Mitteilung aus dem Institut für elektrische Nachrichtentechnik und Meßtechnik der Technischen Hochschule München

H. O. LEILICH

## Technische Probleme bei der Entwicklung von Magnettrommelspeichern

DK 621.395.625.3:681.142-83

Für programmgesteuerte, digitale Rechenanlagen werden technische Einrichtungen benötigt, die es gestatten, Zahlen oder als solche verschlüsselte Rechenbefehle zu speichern und sie nach Bedarf wieder abzugeben.

Die heute verwendeten Zahlenspeicherverfahren unterscheiden sich wesentlich in bezug auf Speicherkapazität, Zugriffszeit und technischen Aufwand [1]. Oft werden mehrere Systeme in Kaskade für eine Maschine benutzt.

Magnetische Trommelspeicher sind heute bei vielen elektronischen Rechenanlagen in Gebrauch. Sie finden auch als relativ einfache, betriebssichere Informationsspeicher wachsend Eingang in die verschiedensten Gebiete der Technik, z. B. zur Speicherung von Telefonsignalen, Fernsehbildern, Tabellen- und Kartothekinformationen [3]. Der den folgenden Betrachtungen zugrunde liegende Magnettrommelspeicher wurde als Hauptspeicher für die programmgesteuerte elektronische Rechenanlage München (PERM), eine schnelle Parallelmaschine, die unter Leitung von Professor Dr. Hans Piloty und Privatdozent Dr. Robert Piloty an der Technischen Hochschule München gebaut wurde<sup>1)</sup>, entwickelt. Herrn Dr. R. Piloty habe ich für viele nützliche Ratschläge und Diskussionen zu danken, Herrn Dr. Macha für die elegante Lösung der mechanisch-konstruktiven Probleme hinsichtlich Antrieb und Lagerung der Trommel sowie der Halterung der Köpfe [2].

#### 1. Wirkungsweise

Die Trommelspeicherentwicklung ging von der Magnetofontechnik aus. Das Speichermedium ist eine dünne magnetisierbare Schicht auf der Oberfläche einer rotierenden Trommel. Viele Magnetköpfe, die meist sowohl Aufzeichnungs- als auch Wiedergabefunktionen ausüben, beeinflussen verschiedene Spuren der Trommel.

Ein wesentlicher Unterschied gegenüber der Schallaufzeichnung besteht darin, daß die Information nicht durch einen kontinuierlich

veränderlichen Aufprechstrom, sondern durch Einzelimpulse bzw. durch Rechteckströme an diskreten, vorbestimmten Plätzen aufgezeichnet wird. Man verwendet stets starke Ströme, die die beaufschlagten Teile der Schicht bis zur Sättigung magnetisieren. Dadurch erreicht man große Betriebssicherheit, kann aber durch ein Schichtelement nur eine Ja-Nein-Information, d. h. eine Binärziffer, speichern. Die aufgezeichnete Information ist wie beim Magnetband praktisch unbegrenzt haltbar, andererseits aber durch Überschreiben alternierbar; bei den meisten Systemen wird im Betrieb nicht gelöscht.

Bei dem in der PERM verwendeten Verfahren zur magnetischen Darstellung der Ziffernwerte<sup>2)</sup> wird das Schichtelement durch einen kurzen, starken Stromimpuls durch die Magnetkopfwicklung in der einen oder anderen Richtung magnetisiert. Beim „Lesen“ dieses magnetisierten Fleckes entsteht dann im Kopfkern ein glockenförmiger Flußverlauf nach Abb. 1 (a) und ein Spannungsimpuls nach Abb. 1 (b) an den Spulenklammern; die durchlaufenden Linien charakterisieren z. B. eine binäre „L“, die unterbrochenen Linien eine „0“. Zur Auswertung des Spannungssignals prüft man, ob zum Zeitpunkt  $t_a$  die Lesespannung gem. Abb. 1 (b) positiv („L“) oder negativ („0“) ist.

Da die Zahlen in der PERM parallel dargestellt werden [2], [5], hat es sich als zweckmäßig erwiesen, sie auch in paralleler Form in den Speicher zu übernehmen. Für die 50 Binärstellen werden daher auch mindestens 50 Magnetköpfe und ebenso viele Trommelspuren benötigt. Sämtliche Stellen einer Zahl werden gleichzeitig magnetisch niedergeschrieben bzw. von der Trommel abgelesen. Der Ort einer Speicherzelle wird also durch die Schichtteile gebildet, die gleichzeitig unter den Polschuhen der 50 Köpfe liegen.

<sup>1)</sup> vgl. Proebster, W. E.: Das Paralleladdierwerk der PERM. ELEKTRONISCHE RUNDSCHAU Bd. 9 (1955) Nr. 10, S. 353

<sup>2)</sup> Das sog. „Return-to-Zero“-Verfahren; andere Schreibverfahren siehe z. B. [4]

Über den gesamten Trommelumfang verteilt liegen viele Speicherzellen. Die Dichte richtet sich nach dem Auflösungsvermögen der Magnetköpfe. Bei der PERM-Trommel sind es 6,5 Zellen/mm. Auf einer Spur liegen bei 10 cm Trommeldurchmesser 2048 ( $= 2^{11}$ ) Binärziffern.

Die Orte dieser Speicherzellen müssen genau festgelegt, „adressiert“ und einzeln aufrufbar sein. Zu diesem Zweck wurde auf eine Hilfspur ein in sich geschlossener Sinuszug mit genau 2048 Vollwellen magnetisch aufgezeichnet. An den Klemmen des Kopfes, der diese Taktpur liest, entsteht eine Sinusspannung, die — verstärkt und in eine Impulskette verwandelt — den Zellentakt für die Aufsucheinrichtung angibt.

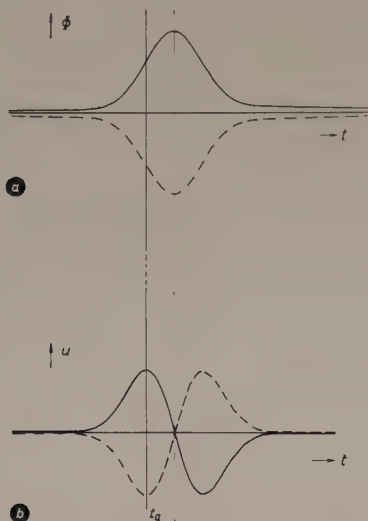


Abb. 1. Verlauf des Induktionsflusses (a) durch den Kopfkern und der Klemmenspannung (b) beim Lesen eines einzelnen magnetisierten Fleckes auf der Oberfläche der Trommel eines Magnettrommelspeichers

Der Taktpuls schaltet eine Zählkette von 11 Flip-Flops (mit  $2^{11} = 2048$  Stellungen) fort. Der momentane Zustand dieses Zählers ist also ein Abbild der jeweiligen Trommelstellung. Eine weitere Hilfspur liefert je Umdrehung einen Einzelimpuls, der den Zähler auf Null stellt und damit für die Eindeutigkeit der Zuordnung nach jedem Trommelanlauf bzw. nach einer Störung sorgt.

Die Stellung des Zählers wird durch eine elektronische Koinzidenzvorrichtung dauernd mit einem Register verglichen, in dem die Adresse der aufzusuchenden Zahl dargestellt wird. Stimmt diese Adresse mit dem Inhalt des Zählers überein, so wird ein Taktimpuls ausgeblendet, der als „Koinzidenzimpuls“ auf einen Befehl vom Zentralsteuerwerk der Rechanlage einen Schreib- bzw. einen Lesevorgang auf die ausgewählte Zelle auslösen kann.

## 2. Dimensionierungsprobleme

Die Anforderungen an die Zahlenkapazität eines Speichers richten sich nach Art und Umfang der Aufgaben, die mit der Rechanlage bewältigt werden sollen. Für Universalmaschinen wie die PERM, die komplizierte numerische Rechnungen aus verschiedenen Gebieten der Mathematik und der Technik lösen soll, wird eine sehr große Speicherkapazität  $C$  (etwa einige tausend Zellen) verlangt.

Die „Zugriffszeit“, die zwischen Einlauf des Befehls und Ausführung der Speicheroperation verstreicht, sollte gegenüber der Ausführungszeit einer Rechenoperation klein sein oder wenigstens in der gleichen Größenordnung liegen, um die Arbeitsgeschwindigkeit der gesamten Anlage nicht erheblich herabzusetzen. Die Zugriffszeit eines Trommelspeichers ist im Mittel etwa die Hälfte der Umlaufzeit  $T$  der Trommel. Man wählte daher für die PERM-Trommel eine sehr hohe Drehzahl.

Beide Forderungen — große Speicherkapazität und kurze Zugriffszeit — lassen sich jedoch nicht unabhängig voneinander gut erfüllen. Sie sind vielmehr durch die Beziehung

$$C = (z \cdot \rho \cdot v) \cdot T$$

miteinander verknüpft, wobei  $z$  die Zahl der Spuren,  $\rho$  die Zelldichte (in Umfangsrichtung) und  $v$  die Oberflächengeschwindigkeit der Trommel ist.  $v$  muß aus Festigkeitsgründen begrenzt bleiben

(z. B.  $v < 100$  m/s). Die Zahl  $z$  der Spuren ist nur durch Vermehrung des Aufwandes für Köpfe und Verstärkereinrichtungen zu erhöhen; abgesehen davon ist dieser Zahl wegen der notwendigen Kopplungsfreiheit der Spuren und wegen der mechanisch bedingten Trommellänge eine obere Grenze gesetzt.

Die maximal erreichbare Zelldichte  $\rho$  hängt von der Auflösungskraft des Kopfes ab; diese ist aber ihrerseits eine Funktion des Abstandes zwischen Polschuh und Schicht, der aus mechanischen Gründen notwendig ist. Durch präzisen Aufbau von Trommel, Lagerung und Antrieb kann man je nach Trommeldurchmesser mit Schicht-Kopf-Abständen von 10–50  $\mu$  arbeiten und erreicht Zelldichten bis zu 10 Zellen/mm [6].

Sind Zahl der Spuren  $z$ , Zelldichte  $\rho$  und Oberflächengeschwindigkeit  $v$  durch die angedeuteten physikalisch-technischen Gegebenheiten festgelegt, so ist nach obiger Formel die Speicherkapazität  $C$  der Zugangszeit ( $\sim T$ ) proportional; d. h., man kann große, langsam rotierende Trommeln mit großer Zahlenkapazität oder schlanke, schnell rotierende Trommeln mit kleinerer Kapazität bauen. — Die Größe  $\rho \cdot v$  ergibt gleichzeitig die Zellenfolgefrequenz, die ein Maß für die Leistungsfähigkeit eines Trommelspeichers darstellt.

Für Konstruktion und Dimensionierung des Magnetkopfes gelten zwei Hauptforderungen: der Kopf soll erstens ein stark gebündeltes Polschuhfeld haben, um eine hohe Zelldichte  $\rho$  erreichbar zu machen, zweitens soll er eine geringe Leistung zum Magnetisieren der Zellen benötigen und beim Lesen möglichst viel Spannung abgeben, um technischen Aufwand bei den Verstärkern zu sparen.

Die erste Forderung erfüllt man durch günstige Formgebung der Polschuhe. — Beim Magnetton arbeitet man bekanntlich mit anliegendem Band und relativ kleinen Aufzeichnungsfeldstärken und benutzt allgemein einen Kopftyp, dessen Grundform in Abb. 2 (a)

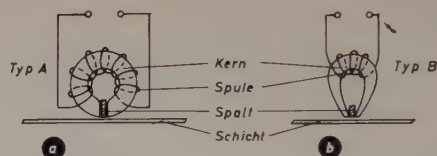


Abb. 2. Grundform (a) eines Magnettonkopfes „Typ A“ und (b) eines Speicher-magnetkopfes „Typ B“ für einen Magnettrommelspeicher

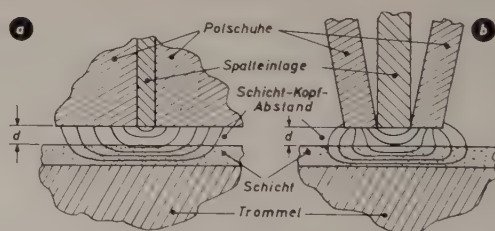


Abb. 3. Skizze der Polschuhanordnungen der Magnetkopftypen „A“ und „B“

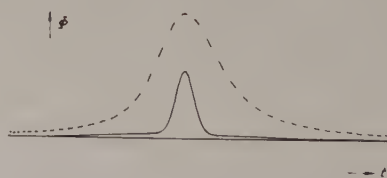


Abb. 4. Flußverlauf im Kern eines „Typ A“- und eines „Typ B“-Magnetkopfes unter gleichen Bedingungen. Unterbrochene Linie „Typ A“

skizziert ist und der hier mit „Typ A“ bezeichnet sei. Beim Trommelspeicher erweist sich eine Grundform nach „Typ B“ nach Abb. 2 (b) überlegen. Das magnetisierende Feld ist hier in einiger Entfernung vom Spalt — auch bei Sättigung des Kernes — erheblich stärker gebündelt als beim Typ A. In Abb. 3 sind die Polschuhe der beiden Typen vergrößert herausgezeichnet, der Feldlinienverlauf für den Schreibvorgang ist angedeutet.

Abb. 4 zeigt den Verlauf des magnetischen Flusses durch den Kopf beim Lesen eines einzelnen magnetischen Fleckes, und zwar für den Typ A (unterbrochene Linie) und den Typ B. Die Magnetisierungsströme und Schicht-Kopf-abstände (20  $\mu$ ) waren in beiden Fällen

gleich. Die Spalteinlage beim Typ A war sogar kleiner ( $30 \mu$ ) als bei B ( $60 \mu$ ). Die Stärke des Einzelpolschuhes betrug beim Typ B (PERM-Kopf) jedoch nur  $20 \mu$ . Der Fluß erreicht zwar bei A einen höheren Maximalwert als bei B, die Fleckbreite ist jedoch bei B erheblich geringer, so daß man mit diesem Polschuhtyp bei gleichem Überlappungsgrad mindestens die dreifache Zelldichte erreichen kann.

Um der zweiten Forderung — der nach minimalem Verstärkeraufwand — zu entsprechen, müssen einige Konstruktionsgesichtspunkte beachtet werden, die sich aus den physikalischen Gegebenheiten ableiten lassen. Der Kopf soll dazu an Hand eines Ersatzschaltbildes als Wandler von elektrischer Energie (an den Spulenklammern) in magnetische Energie (an den Polschuhen) betrachtet werden.

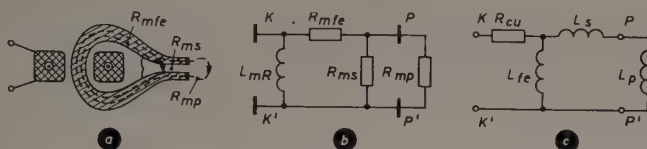


Abb. 5. (a) Skizze eines Speichermagnetkopfes. (b) Einfaches magnetisches und (c) elektrisches Ersatzschaltbild

Abb. 5 (a) zeigt nochmals die Grundform eines Speichermagnetkopfes, die heute mit einigen Varianten allgemein verwendet wird. Die Polschuhform ist entsprechend den Forderungen nach guter Auflösung als gegeben anzusehen.

In dem einfachen magnetischen Ersatzbild Abb. 5 (b) tritt der magnetische Widerstand des Eisenkerns als Längswiderstand  $R_{mfe}$  in Erscheinung. An den Polschuhen liegt der magnetische Widerstand des Außenfeldes  $R_{mp}$ ; parallel dazu muß aber ein Widerstand  $R_{ms}$  angesetzt werden, der das innere Streufeld charakterisiert.

Der elektrische Widerstand der Spule  $R_{cu}$  erscheint im elektrischen Ersatzschaltbild Abb. 5 (c) als Längswiderstand auf der Klemmenseite<sup>3)</sup>.  $R_{mfe}$  und  $R_{ms}$  werden zur Querinduktivität  $L_{fe}$  und  $L_s$ , so daß sich für den Magnetkopf-„Vierpol“ ein bekanntes Transformator-Ersatzschaltbild ergibt.

An den fiktiven „Klemmen“  $P$  und  $P'$ , die den Polschuh symbolisieren, sind die elektrischen Hilfsgrößen  $u_p$  und  $i_p$  durch das Induktionsgesetz  $u_p = \omega \cdot \Phi_p$  und das Durchflutungsgesetz  $i_p \cdot w = V_{mp}$  mit dem Induktionsfluß  $\Phi_p$  und der magnetischen Spannung  $V_{mp}$  verknüpft. — Die gezeichneten Induktivitäten sind infolge der Wirbelströme in Kern- und Schirmblechen stark verlustbehaftet und frequenzabhängig zu denken. Jedes Schaltelement dieses Ersatzbildes charakterisiert eine Einflußgröße, die den Signalenergiefluß durch den Kopfvierpol hemmt.

Bei der Entwicklung des PERM-Speichermagnetkopfes wurde untersucht, in welchem Maße sich die einzelnen Faktoren auswirken und bis zu welcher technisch bedingten Grenze man einen idealen Magnetkopf realisieren kann. Es stellte sich dabei heraus, daß bei allen heute bekannten Speichermagnetköpfen das Streufeld — symbolisiert durch  $L_s$  — von entscheidender Bedeutung ist; der Spulenwiderstand und der magnetische Widerstand des Eisenkerns fallen bei den meisten Konstruktionen wenig ins Gewicht. Durch die folgenden Überlegungen soll diese Tatsache erläutert werden.

Die Induktivität  $L_{fe}$  läßt sich aus den magnetischen Daten und der geometrischen Konfiguration des Kernes berechnen. Bei konstantem Querschnitt  $F$  und einer Eisenweglänge  $l$  ist  $L_{fe} = \mu \cdot w^2 \cdot F/l$ . Zur Abschätzung der Größenordnung kann man das Polschuhfeld auf den gleichen Querschnitt  $F$  beziehen und eine Weglänge  $\lambda$  schätzen, so daß  $L_p = \mu_0 w^2 F/\lambda$  wird.  $l$  hat bei Speichermagnetköpfen etwa die Größenordnung 10 mm,  $\lambda$  liegt bei 0,1 mm. Bei Verwendung hochpermeabler Kernmaterialien ( $\mu > 1000 \mu_0$ ) ist dennoch  $|\mu| l \gg \mu_0 \lambda$ , also  $L_{fe} \gg L_p$ . Vernachlässigt man die anderen Verlustfaktoren, so ist also die Dämpfung infolge des magnetischen Kernwiderstandes sehr klein zu halten, wie aus dem Ersatzschaltbild der Abb. 5 (c) abgelesen werden kann.

Bezüglich des Wicklungswiderstandes  $R_{cu}$  kann man ähnliche Abschätzungen anstellen und gelangt zu dem Ergebnis, daß in dem interessierenden Frequenzbereich auch dessen Einfluß gering ist.

<sup>3)</sup> Im magnetischen Ersatzbild muß man statt dessen entsprechend den Transformationsgleichungen eine magnetische Induktivität  $L_{mku} = w^2/R_{cu}$  ansetzen

Die Streuinduktivität ist allgemein wesentlich schwieriger abzuschätzen. An Hand der Kopfskizze (Abb. 5a) wird jedoch verständlich, daß dem Streufluß von einem Kernschenkel zum anderen ein wesentlich größerer Querschnitt zur Verfügung steht als dem Nutzfluß an den Polschuhen. Aus dieser einfachen Überlegung folgt die wichtige Tendenz bei der Konstruktion eines Magnetkopfes, Kern und Spule möglichst klein auszuführen.

Fertigungstechnisch ist es jedoch nicht möglich, eine Spule mit etwa 100 Windungen mitsamt dem Kern in der Größenordnung des Polschuhes — etwa mit 0,1 mm Gesamtdurchmesser des Systems — aufzubauen. Andererseits ist diese Windungszahl zur Anpassung der Kopfimpedanz an den Wellenwiderstand eines Übertragungskabels notwendig.

Es werden auch Magnetköpfe gebaut, deren Kerne nur mit einem Leiter verkettet sind. In diesem Fall muß jedoch unmittelbar an die winzige Kernschleife ein Anpassungstransformator angebracht werden, bei dem dann ganz ähnliche Probleme des Streuflusses auftreten. Systematische Versuche des Verfassers mit solchen „Transformatorköpfen“ ergaben keine wesentlich besseren Ergebnisse bezüglich der Signalübertragung.

In Ermangelung echter magnetischer Isolatoren können Schirmbleche aus Kupfer oder Silber zur Dämmung des Streuflusses verwendet werden. Beim PERM-Kopf wurde z. B. die Spalteinlage, zwei  $30 \mu$  starke Kupferfolien, sehr breit ausgeführt und weit über die Spule gezogen (vgl. Abb. 6). Die Spule mit 50 Windungen aus 0,12 mm Kupferlackdraht wurde durch maschinelles Wickeln außerdem so klein wie möglich gehalten, so daß die eng anliegenden Kernbleche aus  $10 \mu$  starkem Mu-Metall nur eine Länge von etwa 7 mm haben.

Die Streuinduktivität eines Magnetkopfes kann man aus der Messung der Klemmenimpedanz ermitteln, da  $R_{cu}$ ,  $L_{fe}$  und  $L_p$  berechenbar sind. Für  $L_p$  gilt nämlich in guter Näherung

$$L_p = \frac{w^2 \cdot \mu_0 \cdot b}{2} \cdot \frac{K(k')}{K(k)}$$

worin  $w$  die Windungszahl der Spule,  $b$  die Breite der Polschuhe,  $k = \lambda/(\lambda + 2p)$  mit der Spaltbreite  $\lambda$  und der Polschuhstärke  $p$ ,  $k' = \sqrt{1 - k^2}$  und  $K(k)$  das vollständige elliptische Integral 1. Gattung [7] ist.



Abb. 6. Speichermagnetkopf der PERM (links ein Streichholz zum Größenvergleich)

Trotz der beschriebenen konstruktiven Maßnahmen wurde beim PERM-Kopf eine Streuinduktivität von  $|L_s| = 15 \mu H$  gegenüber der Polschuhinduktivität von  $L_p = 1 \mu H$  gemessen ( $\omega |L_s|$  ist die Impedanz bei 250 kHz). Der Kopf weist beim Lesevorgang eine Dämpfung von etwa 4 dB, beim Schreiben von 10 dB auf.

Als Dämpfungsfaktoren wurden dabei die Verhältnisse der den „Klemmen“ des Kopfvierpols zugeführten bzw. entnommenen Energien benutzt; am Polschuh wurde die maximal auftretende Feldenergie angesetzt, da die reflektierte Energie für die Signalübermittlung bedeutungslos ist. Auch beim Lesevorgang ist es sinnvoll, von Energiedämpfung zu sprechen, weil das Spannungssignal nicht leistungslos gemessen werden kann. Das Lesesignal muß stets Elektroden- und Schaltkapazitäten umladen, ehe es am Gitter der ersten Verstärkerstufe wirksam wird; außerdem schlucken Dämpfungswiderstände einen Teil der Signalenergie. — Die Dämpfungsfaktoren für Schreib- und Lesevorgang sind verschieden, weil man beim Schreiben den Kern teilweise bis zur Sättigung magnetisiert, beim Lesen hingegen mit kleinen Amplituden arbeitet.

Insgesamt besteht zwischen der vom Schreibverstärker angebotenen und der vom Leseverstärker aufgenommenen Energie ein Pegelunterschied von etwa 70 dB. Die Differenz gegenüber den oben angegebenen Kopfdämpfungen von  $4 + 10$  dB ist auf die Hystereseeigenschaften der Schicht und zum großen Teil auf den Einfluß des Luftspaltes zurückzuführen. Die Energie des Polschuhfeldes beim Magnetisieren ist erheblich größer als die Energie des remanenten Feldes, von der zudem nur ein Teil von den Polschuhen aufgenommen wird.

Aus energetischen Gründen ist daher anzustreben, den Schicht-Kopf-Abstand so klein wie möglich zu halten und für die Schicht ein hartmagnetisches Material mit möglichst rechteckiger Hysteresekurve und hoher Koerzitivkraft ( $H_c = 500$  A/cm) zu verwenden.

### 3. Aufbau und Daten des PERM-Trommelspeichers

Den Aufbau des Kopfes zeigt Abb. 6. Ein 6 cm langes Messingrohr von 7 mm Durchmesser klemmt mit seiner vorderen Zange den Blechkern mit den Schirmfolien. Ein konischer Klemmring sorgt für die Vorspannung; die Anordnung ist nachträglich mit Lack vergossen.

Die stabförmigen, glatten Köpfe werden von Klemmbuchsen eines starken Stahlrohres getragen (Abb. 7). Im Innern des Rohres rotiert mit 15 000 U/min die „Trommel“, eine 22 cm lange, 10 cm starke, massive Elektronwalze mit Stahlachse, angetrieben durch einen 250-Hz-Drehstrom-Asynchronmotor. Der Läufer sitzt direkt auf einem Achsstumpf.

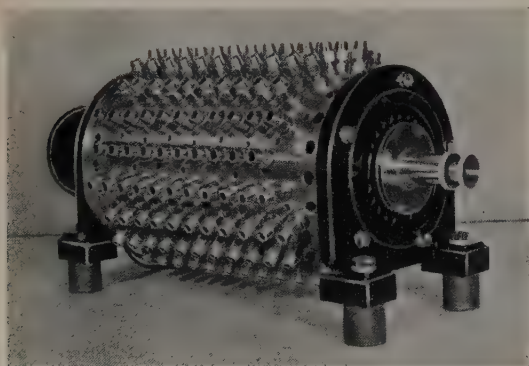


Abb. 7. Trommelspeicher der PERM vor dem Einsetzen der Magnetköpfe

Man wählte die hohe Drehzahl, um die Zugriffszeit (im Mittel 2 ms) einigermaßen an die hohe Arbeitsgeschwindigkeit des Paralleladdierwerkes anzupassen. Für eine Grundrechenoperation werden im Mittel etwa  $300 \mu s$  benötigt; die Operationsgeschwindigkeit der gesamten Rechenanlage wird also z. Zt. im wesentlichen von der „langsamen“ Trommel bestimmt.

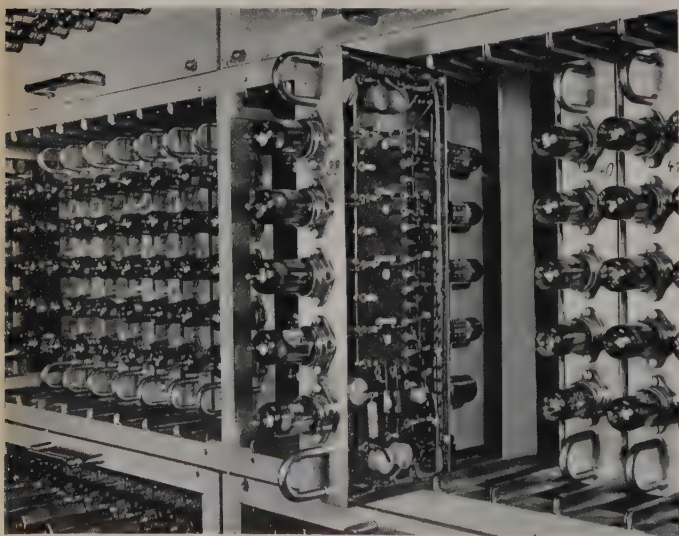


Abb. 8. Einschubrahmen mit Verstärker zum Schreiben und Lesen (für je 4 Köpfe)

Bei der Zelldichte von 6,5/mm ist die Zellenfolgefrequenz 500 kHz. Geschrieben wird mit  $0,5 \mu s$  langen Stromimpulsen von 0,5 A Spitzenwert. Die Lesespannung beträgt im Betrieb 8 mV<sub>ss</sub> an 50 Ohm. Die Verstärkereinrichtungen sind für je 4 Köpfe in einer steckbaren Einheit zusammengefaßt und befinden sich unter den jeweils zugehörigen Stellen des Parallelwerkes [5] (Abb. 8). Infolge des relativ guten Übertragungsverhaltens des Kopfes kommt man mit einer Doppeltriode E90CC je Kopf als Schreibverstärker aus. Die Leseverstärker verwenden zwei RC-gekoppelte EF42.

Die Köpfe sind auf einen Abstand von  $25 \mu$  von der Schicht einjustiert; Lagerspiel und Trommelunrundheit sind zusammen kleiner als  $3 \mu$ . Die Polschuhe haben eine Breite von 0,6 mm und eine Gesamtstärke von 0,1 mm. Auf der Trommel befindet sich je Millimeter eine Spur, insgesamt stehen 217 Spuren zur Verfügung. Davon werden 200 zur Speicherung der 50stelligen Zahlen in 4 parallelen Gruppen verwendet.  $4 \times 2^{11} = 8192$  Zahlen bzw. 409 600 Binäreinheiten können gespeichert werden.

Der Trommelspeicher arbeitet seit einiger Zeit im Versuchsbetrieb.

### Schrifttum

- [1] Eckert, J. P.: A Survey of Digital Computer Memory Systems. Proc. IRE Bd. 41 (1953) Nr. 10, S. 1393
- [2] Piloty, H., Piloty, R., Leilich, H. O., u. Proebster, W. E.: Die programmgesteuerte elektronische Rechenanlage München. FTZ Bd. 8 (1955) (im Druck)
- [3] Malthaner, W. A., Vaughan, H. E.: An Automatic Telephone System Employing Magnetic Drum Memory. Proc. IRE Bd. 41 (1953) Nr. 10, S. 1341
- [4] Thomas, G. E.: Magnetic Storage. Report of a Conference on High Speed Automatic Calculating Machines, June 1949. University Mathematical Laboratory Cambridge, Jan. 1950
- [5] Proebster, W. E.: Das Paralleladdierwerk der PERM. ELEKTRONISCHE RUNDSCHAU Bd. 9 (1955) Nr. 10, S. 353
- [6] Taylor, M. K.: A Small High-Speed Magnetic Drum. Computers and Automation Bd. 4 (1955) Nr. 1, S. 18
- [7] Jahnke-Emde: Tafeln höherer Funktionen. Leipzig, Teubner

## 75 JAHRE LORENZ

Am 30. September 1955 konnte die C. Lorenz AG das Jubiläum ihres 75-jährigen Bestehens feiern. In diesem Zeitraum wuchs das Unternehmen vom Handwerksbetrieb zum Großunternehmen der Nachrichtentechnik mit internationaler Bedeutung. Wenn auch widrige äußere Umstände das Leben des Werkes manchmal ernsthaft bedrohten, so gelang es doch immer wieder durch entschlossenes Handeln, alle Schwierigkeiten zu überwinden. Dem Wagemut und der Initiative von Kaufleuten und Technikern ist es zu verdanken, daß aus dem bescheidenen Pflänzchen von 1880 heute ein weitverzweigter wuchtiger Baum geworden ist. Zwei Wurzeln sind es, die dem Lebensbaum der Firma in der Vergangenheit und auch heute die Widerstandskraft gegen alle Stürme der Zeit gaben: die Tradition gediegener deutscher Handwerkskunst und der weltauftgeschlossene Weitblick und zupackende Wagemut königlichen Kaufmannsgeistes.

Als Telegraphenbauanstalt, Fabrik für elektrisches Licht, elektrische Eisenbahnen, Kunst und Industrie gründete C. Lorenz, Mechaniker aus Hannover, 1880 in Berlin ein Unternehmen, in dem Morseapparate, Streckenläutwerke und Bogenlampen entstanden. Robert Held erwarb 1889 nach dem Tode des Gründers die Firma und nahm bald darauf die Arbeitsgebiete Telegrafie und Telefonie in das Firmenprogramm auf. 1893 wurde die Telegraphen-Bauanstalt von C. F. Lewert erworben, die, 1800 als Mechanikerwerkstatt gegründet, eine der ältesten Berliner Anstalten zur Herstellung elektrischer Apparate war. Der schnelle Aufstieg des Unternehmens machte eine Erweiterung notwendig, und 1906 wandelte Held die in seinem Besitz befindliche Firma in eine Aktiengesellschaft um.

Im Bemühen um die Erweiterung des Firmenprogramms tat Held im selben Jahr den entscheidenden Schritt. Er erwarb die Rechte an dem Poulsen-Lichtbogen-Sender, und damit war die Abteilung für drahtlose Telegraphie gegründet, eine Abteilung, die für die weitere Zukunft das Gesicht der Firma entscheidend beeinflusste. 1911 entstand der erste Lorenz-100-kW-Telegrafiesender, 1920 übertrug Lorenz das erste Funkkonzert in Europa, und 1923 erteilte die Reichspost einen Auftrag auf Lieferung des ersten Rundfunksenders. Auch der größte, jemals in Deutschland errichtete Sender, der 1000-kW-Längstwellensender „Goliath“, wurde von Lorenz erbaut.

Das Werk in Berlin-Tempelhof wurde während des Krieges schwer zerstört, aber nach harten Jahren des Wiederaufbaues steht die C. Lorenz AG heute wieder in erster Linie mit den führenden Unternehmen der Nachrichtentechnik in der Welt. In den ständig wachsenden Werken in Berlin, Stuttgart, Pforzheim, Esslingen und Landshut arbeiten heute rd. 7000 Mitarbeiter und legen täglich immer wieder Zeugnis ab von dem Können der Ingenieure und Arbeiter des Hauses C. Lorenz AG.

# Speicherschwingkreise und Datenein- und -ausgabe beim BULL-Elektronenrechner »GAMMA 3«

DK 681.142-83:621.373.4

Der Elektronenrechner „GAMMA 3“, der in Paris von der *Compagnie BULL* entwickelt wurde, ist ein Elektronengerät, das für die Standard-Lochkartenmaschinen, an die es angeschlossen ist (Tabelliermaschine oder Karten-Doppler), alle Rechenoperationen vornimmt, die für die Normalarbeit notwendig sind.

Der „GAMMA 3“ hat den Vorteil, alle Rechenoperationen so durchzuführen, daß die Ergebnisse zu gleicher Zeit der Grundmaschine zurückgegeben werden, wie diese überhaupt die einzelnen Rechenfaktoren — die diese Ergebnisse brachten — aufnehmen kann. Wenn der Elektronenrechner an einen Karten-Doppler angeschlossen ist, erhält man praktisch gesehen einen Rechenlocher im üblichen Sinne des Wortes, der alle Rechnungen mit einer Geschwindigkeit von 7200 Karten/Stunde erledigt und die Ergebnisse einlocht.

Wenn der „GAMMA 3“ an eine Tabelliermaschine angeschlossen ist, so können die Rechenfaktoren und die Endergebnisse zu gleicher Zeit auf dieselbe Linie gedruckt werden, und zwar mit einer Geschwindigkeit von 9000 Zeilen/Stunde.

## 1. Zahlen-Darstellung

Prinzipiell wird im „GAMMA 3“ eine Ziffer durch eine Gruppe von 4 Stromimpulsen dargestellt, deren Werte (elektronische Gewichte) — wenn sie existieren — 8 4 2 1 sind. Die 9 Ziffern der Dezimalreihe sind infolgedessen so dargestellt, wie aus Abb. 1 zu ersehen ist. Man erkennt hier die Dual- oder Binär-Reihenfolge, in der nur das Zeichen „ich bin da“ besteht und in der jeder Rang den doppelten Wert des vorhergehenden Ranges hat. Da man aber nicht die Gesamtzahl im Binärsystem darstellen will, sondern nur jede Einzelziffer der Gesamtzahl, sagt man, daß der Elektronenrechner „GAMMA 3“ im Halbbinärsystem arbeitet.

Der „GAMMA 3“ wurde für 12stellige Zahlen entwickelt. Diese Zahlen werden durch 12 Gruppen von je 4 Impulsen, also insgesamt durch bis zu 48 Impulse, dargestellt. Wenn diese Impulse durch einen elek-

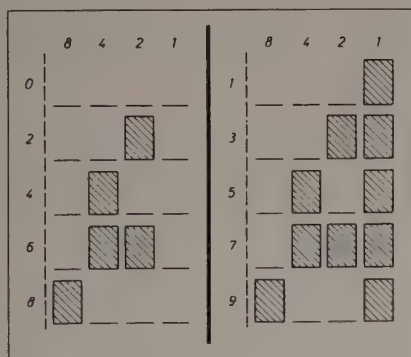


Abb. 1. Darstellung der Zahlen durch je 4 Stromimpulse

tronischen Impulsgeber, der 300 kHz abgibt, erzeugt werden, dann ist der Impulsabstand einen Kilometer lang. Eine Impulskette von 48 Impulsen hätte demnach eine Länge von 48 km. Um diese Erscheinung praktisch verwenden zu können, ist es nötig, die Impulsgeschwindigkeit zu verringern, indem man in der Kette sogenannte Verzögerungslinien einbaut, die mit den Telefonfiltern zu vergleichen sind (durch Kondensatoren geshuntete Widerstände).

Eine Verzögerungslinie übt eine sofortige Bremswirkung aus. Die Kopfimpulse fließen mit gebremster Geschwindigkeit in der Verzögerungslinie, während die Endimpulse in ihrer normalen Geschwindigkeit am Eingang der Verzögerungslinie erscheinen. Wenn der 48. Impuls zum Eingang der Verzögerungslinie kommt, ist der 1. Impuls noch nicht sehr weit in der Verzögerungslinie fortgeschritten, so daß die gesamte Länge der Kette im Verhältnis der Bremswirkung kürzer geworden ist.

Der „GAMMA 3“ hat Verzögerungslinien, in denen die Geschwindigkeit von 300000 km in der Sekunde auf 10 km und die Länge einer Kette von 48 km auf 1,60 m abnimmt.

Wenn man diesen Verzögerungslinien also eine Länge von 1,60 m gibt, so können solche Impulsketten eine 12stellige Zahl, d. h. 48 Impulse, fassen. Am Ausgang der Verzögerungslinie befindet sich eine Elektronenröhre, die dem Impuls die durch die Bremswirkung verlorengegangene Energie wiedergibt.

Außerhalb der Verzögerungslinie setzt die Impulskette ihren Weg mit der Lichtgeschwindigkeit fort. Auf dem kürzesten Weg aber wird die Impulskette dem Eingang der Verzögerungslinie zugeführt, wo jeder Impuls einen frei gewordenen Platz findet.

Es entsteht nun eine geschlossene Schleife, in der die Impulskette so lange kreist, wie die Elektronenröhre ihr Energie spendet (Abb. 2).

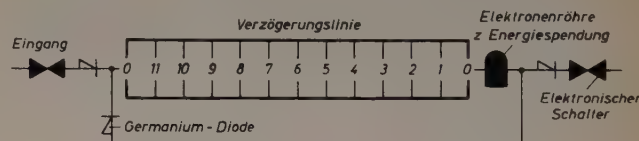


Abb. 2. Schaltschema der Impulsverzögerung

Die in sich geschlossene Verzögerungsschleife, in der die Impulse ständig kreisen, stellt nun den eigentlichen Speicher des Elektronenrechners „GAMMA 3“ dar. Die Zahl dieser rein elektronischen 12stelligen Speicher kann von 4 bis 31 variieren. Die vielen elektronischen Organe zum Steuern der Impulsübertragung von einem Speicher in einen weiteren bestehen aus Dioden mit Germanium-Kristall. Sämtliche umlaufenden Impulse haben einen einheitlichen Grundrhythmus von 280000 Zyklen in der Sekunde, deren Aufteilung in die entsprechenden harmonischen Schwingungen insbesondere die Aufgabe hat, den arithmetischen Wert der eine Zahl darstellenden Impulse zu erkennen.

## 2. Impuls-Eingabe

Wenn ein Elektronenrechner an die Tabelliermaschine angeschlossen ist, so geschieht die Eingabe der Rechenfaktoren aus der Lochkarte über diese Maschine. Die Tabelliermaschine selbst hat aber auch elektromagnetische Zählwerke, aus denen Zahlen von dem Elektronen-Speicher übernommen werden können.

Man unterscheidet 2 Arten der Eingabe in die Elektronen-Speicher:

Die „kinematische Eingabe“ (Abb. 3), d. h. meist das eigentliche Aufnehmen der Rechenfaktoren in die Speicher des „GAMMA 3“. Diese Aufnahme geschieht Punkt für Punkt der Anschlußmaschine, wobei die Faktoren aus der Lochkarte oder aus einem Zähler oder Impulsverteiler der Tabelliermaschine kommen können.

Die Eingabe der elektronischen Impulse geschieht über einen Eingabe-Filter. Der Zugang zu diesem Filter wird elektromagnetisch durch die Anschlußmaschine gesteuert. Eine solche Eingabe verteilt sich also auf einen Maschinengang der Anschlußmaschine.

Die andere Möglichkeit ist die „statische Eingabe“. Dabei wird direkt aus den Zählwerken der Tabelliermaschine in die Elektronen-Speicher übertragen, und zwar zeitlos, d. h. ohne einen Maschinengang dafür zu opfern. Die Eingabe in den Elektronen-Speicher löscht automatisch die vorhergehende Zahl.

## 3. Impuls-Ausgabe

Die Ausgabe aus einem Speicher jedoch erfolgt — wenn nicht anders gewünscht — ohne Löschung der Zahl, die im Speicher weiterkreisen kann. Es wird in diesem Falle ein Vergleicher zwischengeschaltet, der

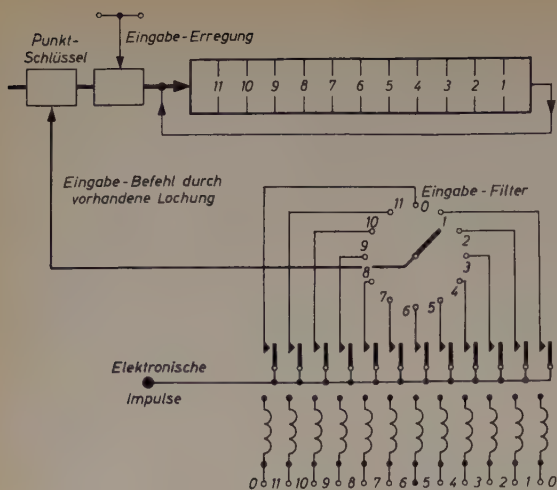


Abb. 3. Kinematische Eingabe

einerseits die gewünschte Impulskette des Speichers und andererseits die Impulskette des sogenannten Punktschlüssels bekommt. So werden im Verlaufe eines Speicherumlaufs die in den 12 Stellen des Speichers vorhandenen Binärschlüssel nacheinander mit dem Punktspeicher verglichen. Bei gleichzeitiger Anwesenheit der Impulse wird mit Hilfe eines Thyratrons ein kleines Relais erregt. Über die durch diese Relais geschlossenen Kontakte fließt der Unterbrecher-Impuls zu den entsprechenden Ausgabe-Buchsen, wobei der dezimale Stellenwert Berücksichtigung findet, weil das Ausgabefilter im Synchronismus mit den Zahlen eines Speichers läuft.

#### 4. Gesamt-„GAMMA“

Alle Speicher des „GAMMA“ (Abb. 4) liegen zwischen 2 Stromkanälen. Der eine Kanal (Faktorenkanal) führt durch das Öffnen der elektronischen Schalter, die sich am Ende der Speicher befinden, die Faktoren zum Rechenaggregat. Der andere Kanal (Ergebniskanal) dient durch das Öffnen eines elektronischen Schalters, der sich an einem Eingang befindet, zum Einführen einer aus dem Rechenaggregat kommenden Zahl in einen der Speicher. Auf beiden Kanälen werden die Impulse durch Dioden gesteuert, die ihnen den Eingang in die nicht zutreffenden Aggregate sperren. Eine Impulskette, die auf dem Faktorenkanal läuft, kann nur zum Rechenaggregat gelangen. Eine Impulskette, die auf dem Ergebniskanal läuft, kann nur vom Rechenaggregat kommen. Daraus ist zu entnehmen, daß ein Zahlenübertrag immer genau mit einer einzigen Adresse festgelegt ist, d.h. durch das Festlegen des einen Punktes; der andere ist immer das Rechenaggregat.

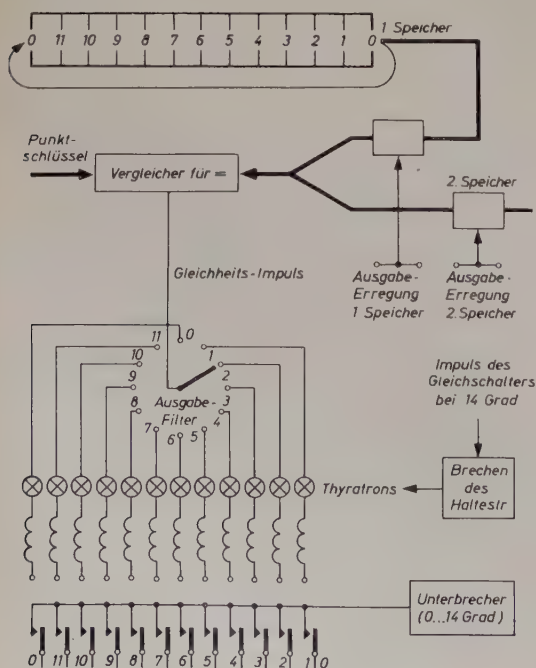


Abb. 4. Gesamtschaltschema des Elektronenrechners „GAMMA 3“

Das Rechenaggregat liegt in der Schleife des 1. Speichers. Eine Zahl dieses Speichers läuft demnach ständig durch das Rechenaggregat und kehrt immer wieder in die Verzögerungslinie zurück.

#### 5. Splitting

Ein Speicher hat zwar eine Kapazität von 12 Stellen oder 48 Impulsen, die der Ein- oder Ausgabe in einen oder aus einem Speicher unterliegenden Zahlen können jedoch eine geringere Stellenzahl aufweisen. Es ist also möglich, das Öffnen oder Schließen eines Speichers zeitlich so vorzunehmen, daß von der 12stelligen kreisenden Zahl nur gewisse Stellen ein- und ausgegeben werden, und zwar ist diese Splitting vollständig zwanglos und kann stellenweise vorgenommen werden. Man darf also nicht von der falschen Vorstellung ausgehen, man müsse stets mit 12stelligen Begriffen arbeiten, oder entsprechende Stellen verlieren.

Die Splitteinrichtung (Abb. 5) wird über die Schalttafel durch die Befehle BA (Befehl-Anfang) und BE (Befehl-Ende) gesteuert. Ein Splitfilter sendet nacheinander die Binärschlüssel der Dezimalstellenwertigkeit. Dies geschieht gleichlaufend mit dem Umlaufen der entsprechenden Stellen im Speicher.

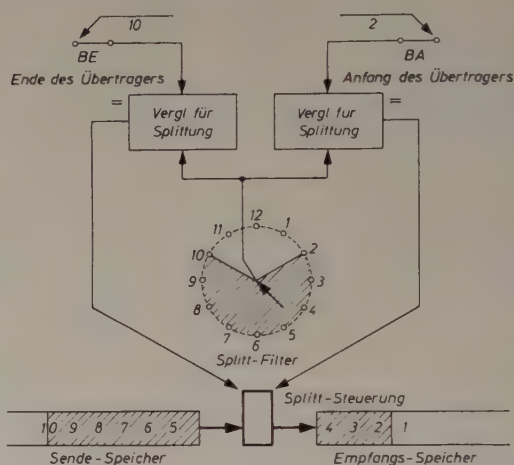


Abb. 5. Splitting

Ein Vergleich vergleicht mit dem Schlüssel des Splitfilters erst das eingeschaltete BA-Zeichen bis Gleichheit auftritt, dann das eingeschaltete BE-Zeichen.

Eine Splitsteuerung öffnet nun einen Speicher bei Gleichheit zwischen dem dezimalen Wertigkeitsschlüssel BA und schließt bei Gleichheit mit BE.

Die Splitsteuerung sendet somit eine Impulskette während der Gesamtdauer des Vorbeiziehens des Speicher-Inhaltes, der durch BA und BE begrenzt ist. Sie schaltet den Faktorenkanal während der durch BA—BE begrenzten Zahl ein. Vor BA oder nach BE liegende Stellen werden also nicht in den Rechenspeicher übernommen. Unter gleichen Bedingungen schaltet die Splitsteuerung den Resultatkanal ein. Sie bedingt gleichzeitig das Löschen eines Normalspeichers, insofern nur die durch BA—BE begrenzte Zahl gelöscht wird. Die außerhalb BA—BE liegenden Zahlen werden nicht gelöscht und bleiben erhalten.

#### 6. Weitere Speichermöglichkeiten

Es soll hier noch kurz darauf hingewiesen werden, daß die Speicherkapazität des Elektronenrechners durch einen Zusatzschrank erweitert werden kann, der als Speicher eine Magnetrommel und Magnetlinien aufweist. Die Magnetrommel gilt in diesem Fall als Speicher von großer Kapazität und langsamer Ein- und Ausgabe.

Die Magnetrommel als solche kann Zahlen, alphabetische Begriffe sowie das eigentliche Rechenprogramm speichern. Ihre Umlaufgeschwindigkeit beträgt 5500 Umdrehungen in der Minute, die eigentliche Ansprechzeit zur Ein- und Ausgabe 11 ms.

Die Kapazität der Magnetrommel beträgt 196608 Binärgewichte, wodurch die 49152 Zahlen dargestellt werden können. Die Magnetlinien, von denen bis zu 32 Stück vorhanden sind, können jeweils eine 12stellige Zahl darstellen. Eine genauere Beschreibung der Magnetrommel und der Magnetlinien würde den Rahmen dieses Berichtes überschreiten.

O. ECKERT, E. WEIDES  
und K. WALLENFANG

# Gütebeurteilung von Rechteckferriten für elektronische Rechenmaschinen

DK 621.318.122:621.318.4.042:681.142-83

$$Rv = B \frac{(-H_m)}{2} : B(H_m) \rightarrow 1 \quad (2)$$

Bei den im folgenden beschriebenen Rechteckferriten handelt es sich um 2-mm-Ferritringkerne aus dem System  $\text{MnO-MgO-Fe}_2\text{O}_3$ , die in elektronischen Rechenmaschinen, in Form einer quadratischen Matrix angeordnet, als Zahlenspeicher Verwendung finden. Die Funktionsweise solcher Kerne kann in den Veröffentlichungen [1...4] nachgelesen werden.

Die Beurteilung der in elektronischen Rechenmaschinen in der Speichermatrix verwendeten kleinen Ferritkerne mit Abmessungen von nur 2 mm Außendurchmesser, 1,5 mm Innendurchmesser, 0,8 mm Höhe, und einem Gewicht von 5 mg ist ähnlich schwierig wie der ganze Herstellungsprozeß. Technologie und Meßtechnik müssen zur Entwicklung und Herstellung eines gleichmäßigen Produktes einwandfrei beherrscht werden.

## 1. Gütekriterien

Die an solche Kerne gestellten Anforderungen sind, da sie als elektronische Schaltelemente Verwendung finden, wesentlich andere als die an übliche ferromagnetische Materialien gestellten.

Im folgenden seien kurz die wichtigsten Eigenschaften, die ein solcher Kern erfüllen soll, zusammengestellt (Abb. 1):

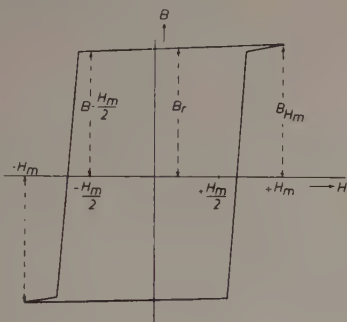


Abb. 1.  
Rechteckschleife zur Erläuterung der Gütekriterien

1.1 Das Verhältnis der Remanenzinduktion zur Maximalinduktion bei einem bestimmten maximalen Feld soll gegen 1 gehen.

$$B_r : B_{\max} \rightarrow 1 \quad (1)$$

1.2 Das Rechteckigkeitsverhältnis  $Rv$ , definiert als das Verhältnis der Induktion, gemessen bei der negativen halben Maximalfeldstärke zur Induktion bei der maximalen Feldstärke, soll gegen 1 gehen.

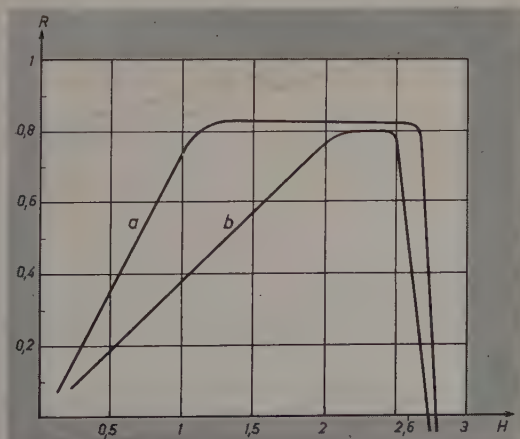


Abb. 2. Rechteckigkeitsverhältnis als Funktion der Feldstärke

Dieses Verhältnis ist eine Funktion der Feldstärke wie in Abb. 2 dargestellt, und es ist erwünscht, daß das Rechteckigkeitsverhältnis  $Rv$  über einen großen Feldstärkebereich einen in der Gegend von 1 liegenden konstanten Wert besitzt (Kurve a), um einen breiten Arbeitsbereich zu haben und nicht, wie in Kurve b dargestellt, einen sehr eingegengten Arbeitsbereich.

1.3 Die Koerzitivkraft  $H_c$  soll möglichst klein sein, um mit kleinen Schaltströmen auszukommen.

1.4 Die Curietemperatur soll möglichst hoch liegen, um die Charakteristik des Kernes während des Betriebs zu erhalten.

1.5 Die Schaltzeit  $T_s$  soll möglichst klein sein, in der Gegend von einigen  $\mu\text{s}$ .

1.6 Die Ausgangsspannungsverhältnisse

1.61 einer ungestörten 1 zu einer gestörten 0

1.62 einer gestörten 1 zu einer ungestörten 0  
sollen möglichst groß sein.

## 2. Meßmethoden.

### 2.1 Ballistisch und wechselstrommäßig

Bei der Entwicklung von Rechteckferriten erfolgt eine erste Beurteilung der Materialien zweckmäßig an der Hystereseschleife. Aus ihr lassen sich die unter 1.1, 1.2 und 1.3 angegebenen Gütemaße mit ausreichender Genauigkeit ablesen. Bei einer Netzfrequenz von 50 Hz und bei gleichstrommäßiger Aufnahme der Hystereseschleife ist im allgemeinen der Verstärkungsgrad der Oszillografenverstärker bzw. die Empfindlichkeit der ballistischen Galvanometer nicht ausreichend, um die Kenndaten am 2-mm-Ring zu bestimmen. Man wählt daher für diesen Zweck Kerne mit den Abmessungen von etwa 50 mm Außendurchmesser, 35 mm Innendurchmesser und 10 mm Höhe und belegt sie mit 2 Wicklungen von 100 Windungen primärseitig und 200 Windungen sekundärseitig, gleichmäßig auf den Ringumfang verteilt.

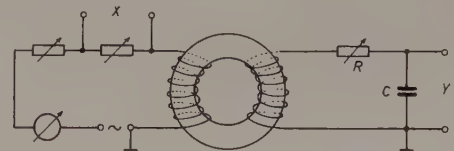


Abb. 3. Schaltbild zur Darstellung der Hystereseschleife von größeren Kernen bei Niederfrequenz (50 Hz)

Das Prinzipschaltbild der für die oszillografischen Aufnahmen der Hystereseschleife verwendeten Schaltung ist in Abb. 3 angegeben, und es ist zu beachten, daß im  $RC$ -Integrationsglied  $R$  groß gegen den Wechselstromwiderstand  $\omega \cdot C$  sein muß, damit der Phasenfehler vernachlässigbar klein wird. Diese Bedingung ist im allgemeinen von einem Verhältnis 100:1 ab ausreichend erfüllt.

Die Auswertung des Oszillografenbildes erfolgt nach den bekannten Beziehungen, wonach die maximale Feldstärke  $H_{\max}$  gegeben ist durch

$$H_{\max} = \frac{I \cdot n_p \cdot \sqrt{2}}{l_m} \left[ \frac{\text{Aw}}{\text{cm}} \right] = 1,255 \cdot \frac{I \cdot n_p \cdot \sqrt{2}}{l_m} [\text{Oe}] \quad (3)$$

wobei  $I$  der Effektivwert des Primärstromes,  $n_p$  die primäre Windungszahl und  $l_m$  die mittlere magnetische Weglänge bedeutet. Aus dem Schirnbild läßt sich dann die Koerzitivkraft  $H_c$  bestimmen nach

$$H_c = \frac{l}{L} \cdot H_{\max} \left[ \frac{\text{Aw}}{\text{cm}} \right] \quad (4)$$

wobei  $l$  der Abstand der Schleifenschnittpunkte auf der Abszisse und  $L$  die maximale Schleifenbreite bedeutet.

Die maximale Induktion  $B_{\max}$  ergibt sich aus

$$B_{\max} = \frac{U_c \cdot R \cdot C}{2 \cdot n_s \cdot F} \cdot 10^8 \text{ [Gauß]} \quad (5)$$

wobei  $U_c$  die Spitzenspannung am Kondensator des Integrationsgliedes in Volt,  $R$  der mit diesem in Serie liegende Widerstand in Ohm,  $C$  die Kapazität in Farad,  $n_s$  die sekundäre Windungszahl und  $F$  der Querschnitt des Kernes in  $\text{cm}^2$  ist.

Das Verhältnis  $B_r : B_{\max}$  kann am Schirm ohne weiteres als Längenverhältnis des Abstandes der Ordinaten schnittpunkte zur Gesamthöhe der Schleife abgegriffen werden.

Zur Darstellung des Rechteckigkeitsverhältnisses  $R_v$  als Funktion der Feldstärke ist es notwendig, aus einer Schleifenfamilie  $R_v$  für jede Schleife zu bestimmen und als Funktion von  $H$  aufzutragen.

Es soll aber hier nicht verschwiegen werden, daß berechnete Zweifel ob der Vergleichbarkeit des Verhältnisses zweier Ringe aus gleichem Material und gleicher Behandlung bei einem Gewichtsverhältnis von 10 000:1, wie es bei dem 50-mm-Ring in bezug auf den 2-mm-Ring herrscht, bestehen.

Es gelang, die Hystereseschleife dieser 2-mm-Ringe bei einer höheren Frequenz, und zwar bei der vom Kern verlangten Grenzfrequenz von 100 kHz, aufzunehmen. Die Aufnahme der Hystereseschleife bei 100 kHz hat außerdem den Vorteil, daß sie den späteren Betriebsverhältnissen näher kommt als die Darstellung der Hystereseschleife bei 50 Hz.

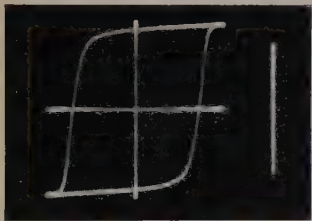


Abb. 4. Hystereseschleife eines 2-mm-Speicherkernes bei 100 kHz.  $R_v = 0,82$ ,  $H_c = 2,5 \text{ Oe}$ ,  $B_r : B_s = 0,94$

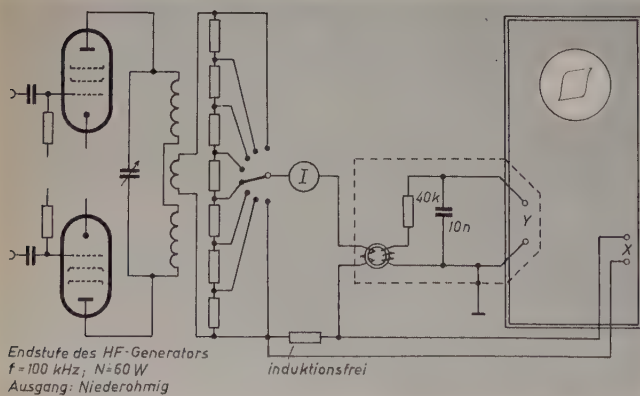


Abb. 5. Schaltung zum Darstellen der Hystereseschleife von 2-mm-Kernen bei 100 kHz

Abb. 4 zeigt eine solche Schleife, die mit 100 Windungen sekundär aufgenommen ist. Die große Eigenkapazität der Sekundärwicklung täuscht eine etwas zu große Schleifenbreite vor, und es ist daher zweckmäßig, für die Auswertung der Koerzitivkraft eine möglichst kleine Sekundärwindungszahl zu wählen. Abb. 5 zeigt die für 100 kHz verwendete Schaltung zur Aufnahme der Hystereseschleife.

Nun ist das Bewickeln eines 2-mm-Kernes mit 100 Windungen nicht ganz einfach und überdies recht zeitraubend, ganz abgesehen von dem durch die Sekundärwicklung bedingten Fehler der Schleifenform, und gestattet keine zuverlässige Auswertung. Es lag nahe, statt der Hystereseschleife deren 1. Ableitung auszuwerten. Bei Verzicht auf das Integrationsglied in den Schaltbildern Abb. 3 und 5 ist die Sekundär-

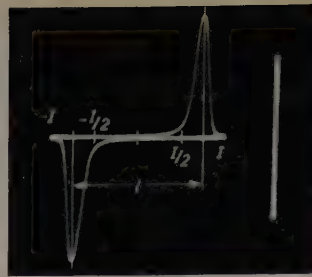


Abb. 6 (links). dB:dH-Kurve eines 2-mm-Kernes. Abb. 7 (rechts). dB:dH-Kurve eines 2-mm-Speicherkernes zeitlich aufgelöst, Zeitmarken 0,2  $\mu\text{s}$

spannung in Abhängigkeit vom Erregerstrom der Differentialquotient  $dB:dH$ . Aus Abb. 4 erkennt man die größte Steilheit unweit der Abszissenachse, und der größten Steilheit entsprechen in der  $dB:dH$ -Aufnahme in Abb. 6 die Spannungsspitzen. Man darf daher in guter Annäherung für das  $l$  in Formel (4) den Spitzenabstand einsetzen und das  $H_c$  wie in Formel (4) angegeben bestimmen.

Die  $dB:dH$ -Kurve gestattet nicht die ziffernmäßige Auswertung der beiden vorgenannten Rechteckigkeitskriterien, dagegen vermittelt sie einen Überblick über das zu erwartende Nutzspannungs-/Störspannungs-Verhältnis, indem man den maximalen Spannungsbetrag ins

Verhältnis zum Spannungsbetrag bei  $+$  oder  $-\frac{H}{2}$  setzt. In dem be-

handelnden Beispiel beträgt es ungefähr 12:1. Die zu erwartende Schaltgeschwindigkeit läßt sich abschätzen, wenn man durch Hell-Dunkel-Steuerung die Spannungsspitzen zeitlich auflöst (Abb. 7). Im vorliegenden Falle ist diese ungefähr 1  $\mu\text{s}$ .

Eine genaue Analyse der  $dB:dH$ -Kurve ermöglicht auch Aussagen über die Scharfkantigkeit der Ecken und die Neigung der flachen Äste der Kurve gegen die Abszissenachse und erlaubt eine rohe Abschätzung des Verhältnisses  $B_r : B_{\max}$ .

## 2.2 Impulsmäßig

Den vorerwähnten Meßmethoden haftet der Nachteil an, daß die Messungen statisch oder mit Sinusspannungen erfolgen und, da der Kern im Betrieb impulsmäßig belastet wird, die Stromform mit dem in der Praxis auftretenden Verlauf nicht übereinstimmt. Man darf daher erwarten, daß man einen besseren Überblick über das Verhalten des Speicherkernes erhält, wenn man ihn, seiner späteren Verwendung entsprechend, mit Impulsen testet.

### 2.2.1 Die Einhüllenden-Methode

In Anlehnung an den Billingschen  $H_2:H_1$ -Test wurde zu diesem Zweck ein Impulsgenerator gemäß Abb. 8 abgeändert. Der Speicherkern befindet sich zu Anfang der Messung im Zustand  $-B_r$ . Durch die Veränderung der Schirmgitterspannung mit einer Sinushalbwellen von 50 Hz werden bei einer Impulsfolgefrequenz von z. B. 2000 Hz

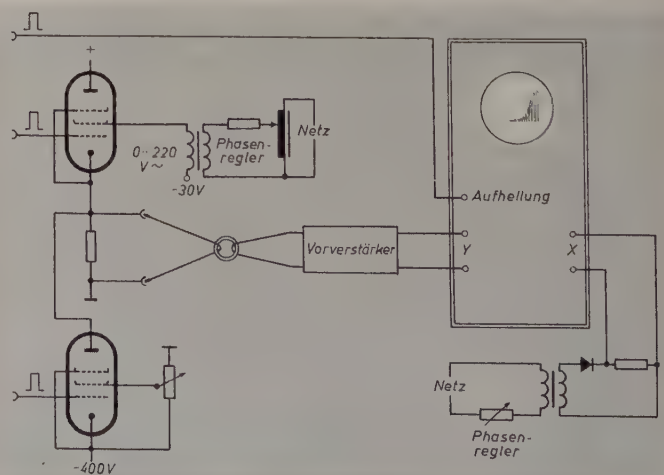
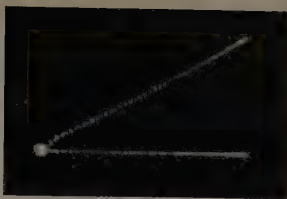


Abb. 8. Schaltung zum Darstellen der Hystereseschleife (Einhüllenden-Methode)

Abb. 9. Zeitlicher Verlauf der primärseitigen Impulsamplitude (Einhüllenden-Verfahren)



in genügend geringem Abstand Impulse von 0 bis 1 A erzeugt. Abb. 9 zeigt den Anstieg der Schreibimpulse, der hier linear verläuft, da die Horizontalauslenkung synchron mit 50 Hz abläuft. Der Leseimpuls bleibt konstant 1 A und bringt den Kern immer wieder nach  $-B_r$  zurück.

Abb. 10 (b) zeigt einen Ausschnitt aus dem Impulsprogramm, und an Abb. 10 (a) sei an der Hystereseschleife verdeutlicht, welcher Verlauf der Ausgangsspannung nach Abb. 10 (c) sich sekundärseitig ergibt.

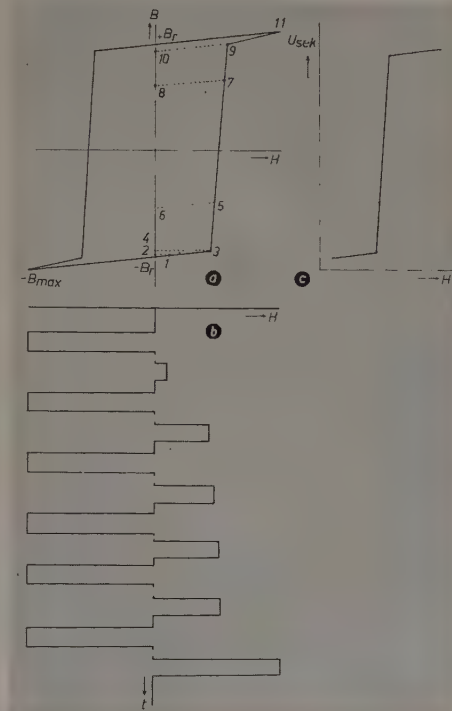


Abb. 10(a) Rechteckschleife, (b) Ausschnitt aus dem Impulsprogramm, (c) Sekundärseitige Ausgangsspannungen  $U_{sck}$  als Funktion der primärseitigen Impulsamplitude

Von  $-B_r$  ausgehend wird bei einem Magnetisierungsimpuls  $H_1$  und nachfolgendem Leseimpuls  $-H_{max}$  der Weg  $(-B_r) \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow (-B_{max}) \rightarrow (-B_r)$  durchlaufen, und als Ausgangsspannung wird die der Differenz  $(-B_{max}) - (-B_r)$  proportionale Spannung gewertet. Solange die Magnetisierungsimpulse kleiner als die zur Ecke im IV. Quadranten gehörige Feldstärke bleiben, sind die Ausgangsspannungen gering. Sobald aber diese Schwellenfeldstärke überschritten wird, steigt die Ausgangsspannung stark an [z. B. Abb. 10 (a), Weg  $(-B_r) \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow (-B_{max}) \rightarrow (-B_r)$ ,  $(-B_r) \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow (-B_{max}) \rightarrow (-B_r)$ ,  $(-B_r) \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow (-B_{max}) \rightarrow (-B_r)$ ] und läuft nach Überschreiten der Ecke (oder des Bogens) im ersten Quadranten in den dem Sättigungswert  $(B_r + B_{max})$  proportionalen Spannungsbetrag ein.

Abb. 11 zeigt ein nach der Einhüllenden-Methode erhaltenes Oszillografenbild eines 2-mm-Speicherkerns. Man erkennt, daß die sekundärseitigen Ausgangsspannungsimpulse eine Einhüllende haben, die ein mit Impulsen geschriebenes Abbild der Hystereseschleife darstellt. Aus der Einhüllenden läßt sich nun sehr rasch ein Überblick über den zweckmäßigen Arbeitsbereich hinsichtlich der primärseitigen Belastung gewinnen. Setzt man den Spannungswert an beliebigen Stellen  $H$  ins Verhältnis zum Spannungswert an den entsprechenden Stellen  $H/2$ , so gelangt man zu einer Darstellung des Nutz-/Störspannungs-Verhältnisses als Funktion der Feldstärke  $H$ . Außerdem läßt diese

Darstellung sofort eine Entscheidung nach dem Billingschen  $H_2:H_1$ -Test treffen.

Löst man die sekundärseitigen Ausgangsimpulse zeitlich auf, so erhält man Schirmbilder wie in Abb. 12 dargestellt. Aus ihnen ist sofort die Abhängigkeit der Schaltzeit von der Ausgangsspannung und damit von der primärseitigen Impulshöhe ablesbar. Man erkennt, wie mit steigender Impulshöhe die Schaltzeit kleiner wird. Die allerersten Spannungsbeträge jedoch sind zeitlich sehr kurz und reversibel. Sobald der Knick der Schleife erreicht wird und der Kern kippt, kommen irreversible Anteile hinzu, deren zeitlicher Verlauf von der primärseitigen Impulshöhe bestimmt wird. Mit steigender Feldstärke klappen die Weißschen Bezirke schneller und die Sekundärspannung steigt.

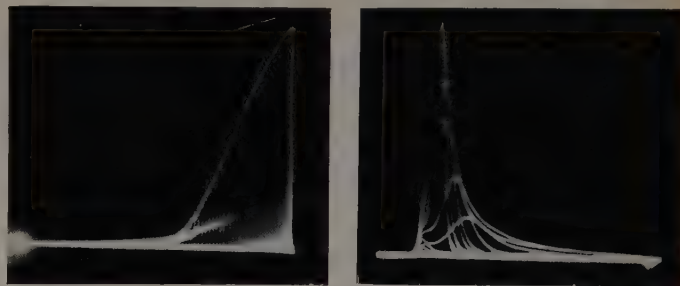


Abb. 11. Oszillogramm eines 2-mm-Speicherkerns, aufgenommen nach der Einhüllenden-Methode. Abb. 12. Zeitabhängigkeit der sekundärseitigen Informationsimpulse, Parameter ist die primärseitige Impulsamplitude

## 2.22 Der Serientest

Vorbeschriebene Meßmethoden sind zwar geeignet, einen Kern oder auch eine kleine Serie auf ihr grundsätzliches Verhalten zu untersuchen, nicht aber um die Auslese für eine Großserie zu treffen. Die an die Gleichförmigkeit zu stellenden Anforderungen müssen zu den möglichen Grenzbeanspruchungen in Beziehung gebracht werden. Die Kerne werden im allgemeinen in Koinzidenzspeichern verwendet. Die Eingabe eines Schreibimpulses erfolgt durch die Summation von zwei  $I/2$ -Impulsen im aufzurufenden Kern. Bis zum Herauslesen des gleichen Kernes laufen zwischenzeitlich unter Umständen viele  $I/2$ -Impulse positiver oder negativer Richtung über den gleichen Kern, die den ursprünglichen eingeschriebenen magnetischen Zustand zu verändern vermögen, so daß die zu erwartende Ausgangsspannung an den Enden eines Leiters, der durch den Kern geführt ist, gestört wird. 2 Grenzfälle sind beispielsweise in Abb. 13 dargestellt:

- a) die ausgewählte 1, zuletzt gestört durch  $n \frac{1}{2}$  Leseimpulse,
- b) die ausgewählte 0, zuletzt gestört durch  $n \frac{1}{2}$  Schreibimpulse.

Die Anzahl der Störimpulse ist mit  $n = 8$  ausreichend. Lediglich im Falle der gestörten „1“ ist es unter Umständen wünschenswert,  $n > 8$  zu wählen.

An die Magnetisierungsimpulse sind beim Serientest bestimmte Anforderungen hinsichtlich ihrer Stabilität zu stellen.

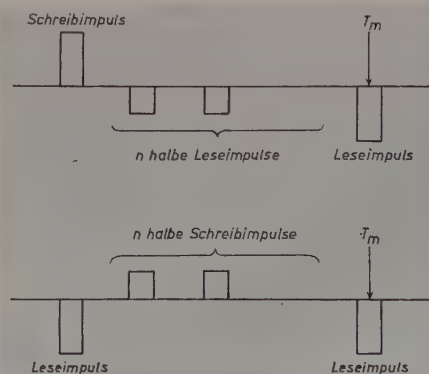


Abb. 13. Beispiele primärseitiger Impulsprogramme für gestörte „1“ und gestörte „0“

Die Anstiegszeit soll  $0,2 \mu s$  betragen, gemessen von 10% des Spitzenwertes  $I_s$  bis 90%  $I_s$ , die Impulslänge (gemessen von 10%  $I_s$  auf der Anstiegsflanke bis 10%  $I_s$  auf der Abstiegsflanke des Impulses) soll mindestens das 1,5fache der Schaltzeit des Kernes sein, und das Impulsdach soll bis zur Abfallflanke um nicht mehr als 10% von  $I_s$  abfallen.

Der 2-mm-Ring trägt dabei nur eine Windung primär und eine Windung sekundär.

Am Oszillographenschirm erscheinen die durch den primärseitigen Leseimpuls veranlaßten sekundärseitigen Informationsspannungsimpulse zeitlich aufgelöst. Abb. 14 zeigt eine solche Darstellung für ungestörte „1“, gestörte „1“ und gestörte „0“ eines 2-mm-Kernes der General Ceramics Corporation bzw. der Stemag bei einer optimalen Aussteuerung von 0,8 A.

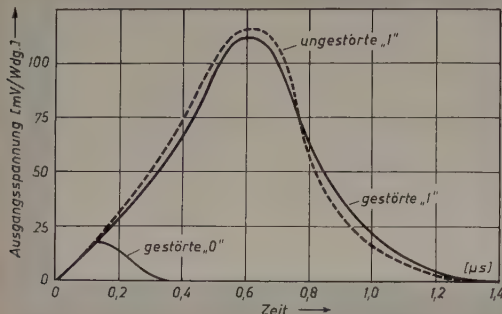


Abb. 14. Zeitlicher Verlauf ungestörter und gestörter Informationsimpulse

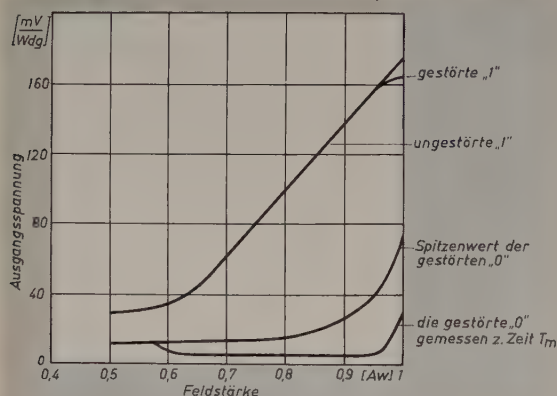


Abb. 15. Abhängigkeit ungestörter und gestörter Informationsimpulse von der primärseitigen Impulsamplitude

Untersucht man die betreffenden Ausgangsspannungen (ungestörte „1“, gestörte „1“ und gestörte „0“) in Abhängigkeit von der Feldstärke  $I_s$ , so erhält man Kurven, wie sie in Abb. 15 dargestellt sind.

Man macht sich leicht durch Betrachtung einer Rechteckschleife klar, weshalb die gestörte und ungestörte „1“ bei einer gewissen Feldstärke divergieren und gleichzeitig die Kurve der gestörten „0“ steil ansteigt. Es sind dies ja nichts anderes als die Knickpunkte der Hystereseschleife im II. und IV. Quadranten. Die „1“ ist nach ihrer Anfangsinformation  $+B_r$  mit einer Aufruf-Feldstärke  $-H_m$  gemessen. Die gestörte „1“ ergibt sich bei einer Anfangsinformation  $+B_r$  und einer Folge von  $-H_m/2$ -Impulsen vor dem Leseimpuls mit  $-H_m$ . Die gestörte „0“ ist bei einer Anfangsinformation  $-B_r$  ermittelt, auf die eine Folge positiver  $H_m/2$ -Impulse vor der Eingabe des Leseimpulses  $-H_m$  eingewirkt hat. Die unterste Kurve stellt bei einer gleichen Impulsfolge die Ausgangsspannung einer gestörten „0“ dar, jedoch die Ausgangsspannung zum Zeitpunkt  $T_m$  ermittelt.

Die in Abb. 15 erwähnte Zeit  $T_m$  sagt aus, daß in der Darstellung nach Abb. 14 der Spannungsbetrag zu der Zeit abzunehmen ist, bei der die ungestörte „1“ 90% ihres Spitzenwertes erreicht hat.

Man kann aus Abb. 14 und 15 eine Anzahl von Nutzspannungs-/Störspannungs-Verhältnissen (discrimination ratios) ermitteln und diese als Funktion der Feldstärke in der Schaltzeit auftragen. In den USA hat sich als Maß das Verhältnis der gestörten „1“ zur gestörten „0“ eingebürgert. Es sei aber hierbei nicht verschwiegen, daß gerade die Messung der gestörten „0“ zum Zeitpunkt  $T_m$  nicht einfach ist, am Einzelkern nicht gelingt, sondern an etwa 100 Kernen gemeinsam ermittelt wird. Der Grund, weshalb dieses Verhältnis in den USA bevorzugt wird, ist darin zu suchen, daß die gestörte „0“ und die gestörte „1“ zeitlich verschoben sind und nur der Spannungsbetrag der gestörten „0“ interessiert, der praktisch unter der Impulsspitze der gestörten „1“ liegt.

Eine Apparatur, die die beschriebenen Prüfungen durchzuführen gestattet, ist schon recht aufwendig und stellt hohe Anforderungen an die Elektronik des Impulsgenerators und an den Oszillografen. Als Beispiel sei das Blockschema des Impulsgenerators der Firma Rese Engineering, Inc., 731—33, Arch Street, Philadelphia, USA, angegeben (Abb. 16).

Der Taktgeber bestimmt die Impulsfrequenz, die bis maximal 10 kHz gewählt werden kann. Die einfachen Steuerimpulse des Taktgebers werden in der Umwandlerstufe in eine sich wiederholende Folge von 8 Impulsen umgewandelt. Diese 8er-Impulsfolge wird über Schalter im Programmwähler auf 4 gleichartige Impulsstufen geschaltet. Die 4 Endstufen erzeugen über einen Gegentakt-Impulstransformator jeweils 2 halbe Impulse in positiver und 2 halbe Impulse in negativer Richtung im Prüfling. Arbeiten 2 Endstufen gleichzeitig, so ergibt dies einen ganzen Impuls.

Der Oszillograf kann über einen Stufenschalter mit jedem der 8 Impulse des Programms synchronisiert werden.

Die vollständige Anlage ohne Oszillograf erfordert bereits über 90 Röhren.

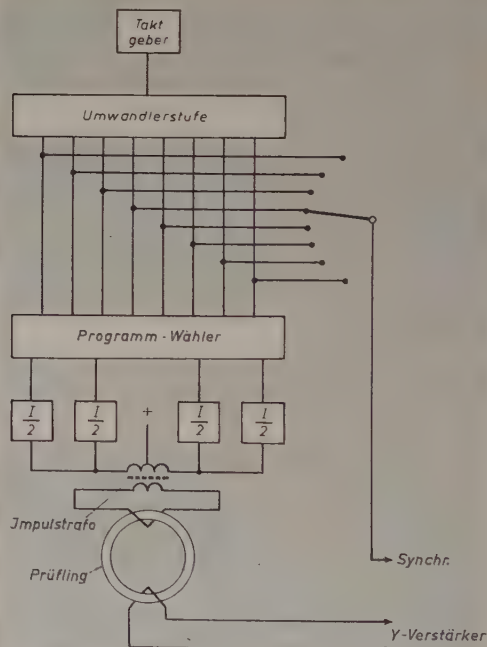


Abb. 16. Blockschemata des Impulsprogrammgenerators (Rese, Philadelphia)

Bei den sich immer weiter steigenden Forderungen nach Gleichheit der Schaltkerne untereinander, Verkürzung der Schaltzeiten und Verringerung der Aufrufströme ist unschwer vorauszusagen, daß namentlich die Serienmeßtechnik erst im Anfang ihrer Entwicklung steht.

#### Schrifttum

- [1] Papian, W. N.: Proc. IRE Bd. 40 (1952) S. 475
- [2] Eckert, O.: ETZ-A Bd. 75 (1954) S. 253—256 (dort auch weiteres Schrifttum)
- [3] Albers-Schönberg, E., u. Eckert, O.: Ber. d. dt. Keram. Ges. Bd. 31 (1954) Nr. 9, S. 311—315 (dort auch weiteres Schrifttum)
- [4] Riepkja, H. C.: Elektronik (1954) Nr. 8, S. 1—4

H. LOTH

# Entwicklung von Widerständen für elektronische Geräte

DK 621.316.8(047.3):681.142-83

In den letzten Jahren hat sich der Gebrauch elektronischer Geräte in Industrie und Wissenschaft immer mehr eingebürgert. Dabei sind es in besonderem Maße elektronische Rechenggeräte, die die weite Verbreitung erfahren haben und an zahlreichen Stellen als mathematische Hilfsmittel, als Zeitgeber, Zähler und Überwachungs- und Regelorgane benutzt werden. Man hat sich an allen Verwendungsstellen schnell mit den Vorteilen dieses neuen Hilfsmittels vertraut gemacht und nimmt oft seine Präzision, Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit als selbstverständlich hin. Es sollte aber nicht verkannt werden, welche mühevollen Kleinarbeiten in unzähligen Laboratorien vorausgehen mußten, um dem Konstrukteur eines elektronischen Geräts all die Einzelteile an die Hand zu geben, die er benötigt, um sie zu der gewünschten Vollkommenheit und hohen Zuverlässigkeit zu entwickeln.

Besonders umfangreiche Entwicklungsarbeit mußte bei der Schaffung geeigneter elektrischer Widerstände geleistet werden. Es stellte sich nämlich heraus, daß die in den USA verwendeten Massewiderstände wegen ihrer unzureichenden Konstanz und ihrer Spannungsabhängigkeit den Forderungen der Elektronik nur mangelhaft nachkommen konnten. In Zusammenarbeit mit Unternehmen der Industrie-Elektronik und des Büromaschinenbaues ergaben sich für die Widerstandselemente folgende Forderungen: hohe zeitliche Konstanz, geringe Temperaturabhängigkeit, Spannungsunempfindlichkeit, Verwendbarkeit bis zu hohen Frequenzen, geringe Rauschspannung, Feuchtigkeitsbeständigkeit, Unempfindlichkeit gegen statische und magnetische Felder, kleine Abmessungen und möglichst axiale, kappenlose Ausführung.

Von Natur aus erschien der bisher bereits gebräuchliche Schichtwiderstand am ehesten geeignet, wenn er auch in der üblichen Ausführung als Bauelement der Rundfunkindustrie den verschärften Anforderungen noch nicht gewachsen war.

Nach Abschluß der Entwicklungsarbeiten wird aber heute ein Kohleschichtwiderstand geliefert, der nicht nur alle Forderungen des Elektronikers erfüllt, sondern darüber hinaus Eigenschaften aufweist, die erst den Aufbau der heutigen Hochleistungsgeräte ermöglichen. Die Merkmale eines Präzisionswiderstandes für den Einsatz in Rechenggeräten seien kurz zusammengefaßt.

## 1. Hohe zeitliche Konstanz

Durch strenge Auswahl der zur Verwendung kommenden keramischen Rohstoffe und genaue Kontrolle ihrer Verarbeitung und Oberflächenbeschaffenheit läßt sich die für das Niederschlagen kristalliner Glanzkohle benötigte glatte und porenfreie Unterlage schaffen. Es ist selbst-

verständlich, daß die zeitliche Konstanz einer Widerstandsschicht um so höher ist, je homogener sie auf ihrer Unterlage aufgebracht ist. Weiter ist es sehr wesentlich, daß der tragende Keramikstab aus einem Grundstoff hergestellt wird, der keine schädlichen Beimengungen enthält, wenn man elektrochemische Veränderungen der Widerstandsschicht vermeiden will. Auch die Lackierung spielt in dieser Hinsicht eine nicht zu unterschätzende Rolle. Bei richtiger Wahl der Grund-

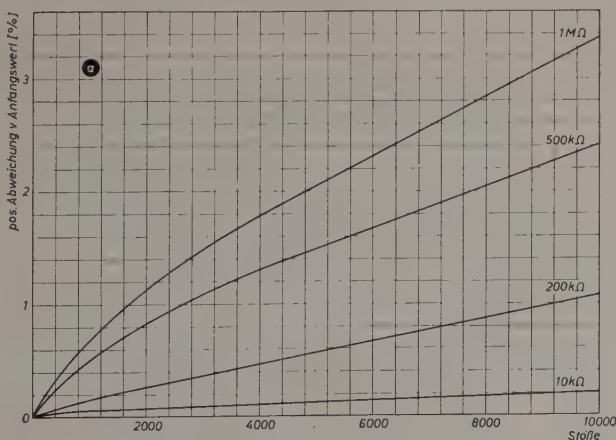
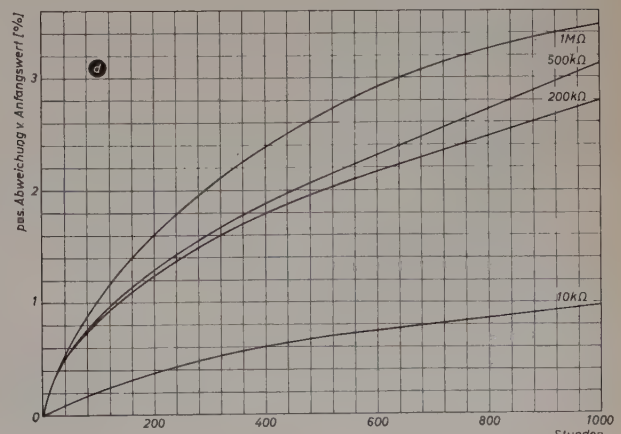
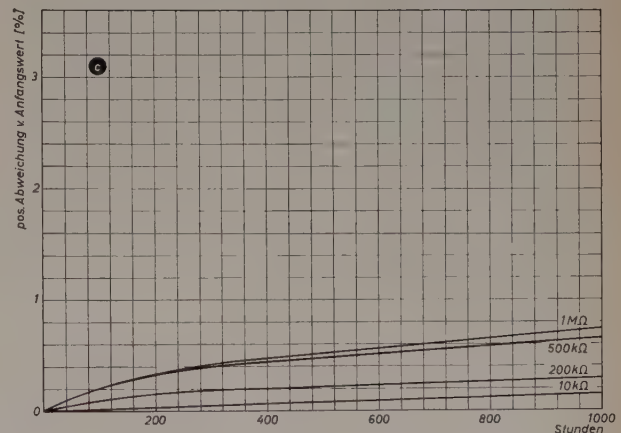
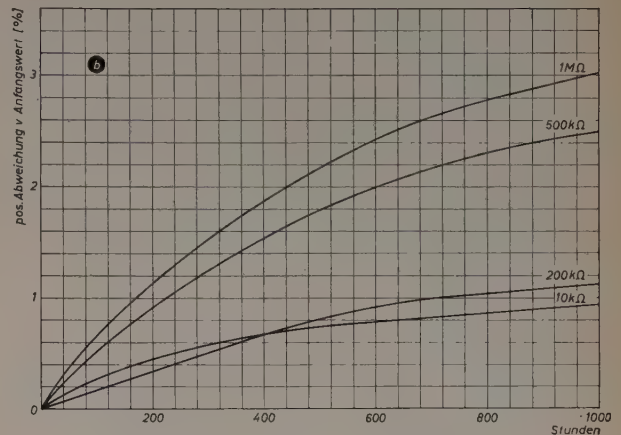


Abb. 1. Ergebnisse der Widerstandsprüfung (a) mit Stoßlast, (b) mit Nennlast, (c) mit 0,2 W Belastung bei 20°C, (d) mit 0,2 W Belastung bei +60°C und 90% rel. Feuchtigkeit

stoffe und ihrer Beschaffenheit läßt sich jedoch eine Konstanz erreichen, die weit über das bisher bei anderen Widerstandstypen bekannte Maß hinausgeht.

## 2. Temperaturabhängigkeit

Hand in Hand mit den Forderungen an die Grundstoffe für die zeitliche Konstanz ergeben sich gleichartige Bedingungen für die Herstellung von Widerständen mit geringem Temperaturkoeffizienten. Jedoch nicht nur das Ausgangsmaterial, sondern auch die Verarbeitung, das Aufbringen der Kohleschicht, der Schliff, die Weiterbehandlung und nicht zuletzt die Konstruktion des Bauelementes selbst haben erheblichen Einfluß auf die Temperaturabhängigkeit des Widerstandswertes. Besonders kritisch sind in dieser Hinsicht Widerstandswerte  $> 1 \text{ M}\Omega$  mit enger Wendelung und extrem dünner Schicht. Bei guten Widerständen liegt der Wert des Temperaturkoeffizienten heute bei  $0,35 \text{ }^{\circ}/_{00}/^{\circ} \text{C}$ .



Abb. 2. Kohleschichtwiderstände für verschiedene Belastbarkeit

## 3. Spannungsunempfindlichkeit

Als besonders nachteilig für kommerzielle Verwendung muß die Spannungsabhängigkeit des Widerstandswertes der früher verwendeten Massewiderstände angesehen werden. Demgegenüber hat der Kohleschichtwiderstand beträchtlich günstigere Eigenschaften. Die Abhängigkeit des Widerstandswertes von der angelegten Spannung beträgt bei ihm nur mehr  $1 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}/_{00}/\text{V}$ .

## 4. Verwendbarkeit bei hohen Frequenzen

Auch hinsichtlich der Verwendung bei hohen Frequenzen ergeben sich für den Schichtwiderstand erheblich bessere Eigenschaften als bei allen anderen Widerstandstypen. Es ist heute ohne Schwierigkeiten möglich, gleichmäßige Kohleschichten mit einer Dicke von nur  $10^{-6} \text{ mm}$  und darunter herzustellen, die also bis herauf zu einer Verwendung bei 1000 MHz in ihrer Stärke geringer sind als die bei diesen Frequenzen infolge des Skineffektes verringerte Eindringtiefe des Hochfrequenzstromes.

## 5. Rauschspannung

Jeder elektrische Widerstand gibt bei Belastung mit Gleichspannung ein Rauschspektrum ab, das als Maß für die Güte der Widerstandsschicht gelten kann. Zwar erreicht der Kohleschichtwiderstand nicht die günstigen Rauschwerte von Drahtwiderständen, ist aber um Größenordnungen besser als ein Massewiderstand. Der heute erreichbare Wert des Rauschens bei Schichtwiderständen liegt etwa bei  $0,3 \text{ } \mu\text{V/V}$  angelegter Gleichspannung.

## 6. Feuchtigkeitsbeständigkeit

Die Unempfindlichkeit der Kohleschicht gegenüber tropischen Einflüssen wie Feuchtigkeit mit gleichzeitiger Wärme, Salzwasserfestigkeit, Beständigkeit gegen Insektenfraß und Pilzbefall usw. läßt sich durch Wahl geeigneter Spezialschutzlacke erreichen. Gleichzeitig erhält man dadurch eine hohe Durchschlagsicherheit und einen sehr weitgehenden Schutz gegen mechanische Beschädigungen.

## 7. Unempfindlichkeit gegen statische und magnetische Felder

Grundsätzlich ist die Unempfindlichkeit des Schichtwiderstandes gegenüber störenden statischen und magnetischen Feldern gegeben. Bei der Untersuchung sorgfältig hergestellter Widerstände verschiede-

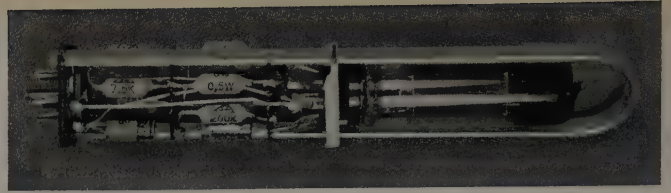


Abb. 3. Steckeinheit eines Elektronenrechners mit eingebauten axialen Widerständen

der Werte ließ sich eine Veränderung des Widerstandswertes durch Störfelder in keinem Fall feststellen.

## 8. Kleine Abmessungen

Das Streben der elektronischen Industrie nach möglichst geringen Abmessungen der Bauelemente ist verständlich. Doch ergeben sich dabei für Widerstände Grenzen in der Belastbarkeit. Ein Widerstand von gegebener Belastbarkeit muß stets eine bestimmte Wärmemenge an seine Umgebung abgeben, soll seine Oberflächentemperatur nicht so hoch werden, daß die Konstanz seines Widerstandswertes darunter leidet. Er bedarf also einer bestimmten abstrahlungsfähigen Oberfläche. Bei der verlangten hohen Konstanz können demnach seine Oberfläche und seine maßliche Ausführung nicht beliebig klein gemacht werden. Immerhin ist es gelungen, durch Wahl sehr temperaturbeständiger Werkstoffe und durch Ausnutzung der Wärmeleitfähigkeit der Anschlußdrähte einen axialen Widerstand zu schaffen, der auch abmessungsmäßig allen Anforderungen gerecht wird.

Um eine genaue Übersicht über die Ergebnisse der Entwicklungsarbeiten zu geben und Vergleiche zu ermöglichen, werden nachstehend Prüfbedingungen für die Dauerprüfung von Kohleschichtwiderständen für den Bedarf der elektronischen Industrie und die dabei erzielten Ergebnisse angegeben.

## 9. Dauerprüfung für Kohleschichtwiderstände

Es werden jeweils geprüft: 10 k $\Omega$ , 200 k $\Omega$ , 500 k $\Omega$ , 1 M $\Omega$ .

Die Abweichungen des Widerstandswertes dürfen nach 1000 Stunden 3%, nach 5000 Stunden 5% vom Anfangswert nicht überschreiten (mit Ausnahme von Prüfung a).

- Überlast bei 20 °C max. 60% rel. Feuchtigkeit. Prüfling waagrecht frei aufgehängt — 10000mal 1 Minute lang mit 2facher Nennlast belastet bei anschließender Pause von 1 min und Messungen nach 5000 und 10000 Belastungen
- Nennlast bei Raumtemperatur über 1000 Stunden. Messungen nach 100, 250, 500, 750, 1000 Stunden
- Belastung 0,2 W bei Raumtemperatur 1000 Stunden. Messungen wie unter b)
- Belastung 0,2 W bei +60 °C und 90 % rel. Feuchtigkeit. 1000 Stunden. Messungen wie unter b).

Alle Prüfungen mit Gleichspannung. Die Höhe der Prüfspannung errechnet sich aus den oben angegebenen Leistungsangaben, soll aber 500 V nicht überschreiten.

## Mendelevium

Wie kürzlich bekannt wurde, ist es einer Forschergruppe der Universität von Californien unter Prof. Seaborg, die bereits die Elemente Nr. 99 und 100 darstellte, gelungen, durch intensives Bombardement mit  $\alpha$ -Teilchen (Heliumkernen) in dem 60"-Zyklotron der Universität aus Atomen des Elements Nr. 99 mit der Massenzahl 253 insgesamt 17 Atome des Elements Mendelevium zu gewinnen. Das bombardierte Element Nr. 99 war galvanisch auf einer Goldfolie niedergeschlagen. Die in Mendelevium umgewandelten Atome des Elements Nr. 99 wurden durch die auftretenden  $\alpha$ -Teilchen von der Zielfolie fortgeschleudert und auf einer zweiten Goldfolie gesammelt, die schnell durch einen Lösungsvorgang abgetrennt wurde. Nach der Entfernung von Gold und anderen Verunreinigungen wurden die Rückstände in verschiedene chemische Verbindungen zerlegt, von denen eine nur das Element Nr. 101 enthalten konnte. Das neue Element kommt weder für Bomben noch für die Kraft-erzeugung in Betracht. Seine Entdeckung dürfte aber weitere Aufschlüsse über das Wesen des radioaktiven Zerfallsvorganges vermitteln.

# Transistoren in der Rechenmaschinenteknik

DK 621.314.7:681.142-83

In den letzten Jahren zeigte sich in der Rechenmaschinenteknik das Bestreben, immer leistungsfähigere Maschinen zu bauen, in denen heute oft viele tausend Röhren verwendet werden. Diese Entwicklung brachte einige neue Probleme mit sich, so z. B. die Frage der Energieversorgung, da die Leistungsaufnahme einer Maschine viele Kilowatt betragen kann. Damit verbunden sind die Frage der Abfuhr der Verlustwärme und der große Raumbedarf dieser Maschinen.

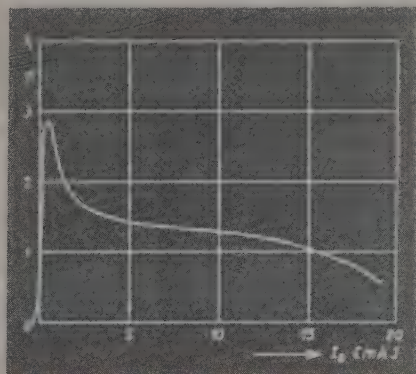
Ein beträchtlicher Fortschritt bei der Bewältigung all dieser Probleme scheint sich durch die Verwendung von Transistoren anzubahnen. Eine mit Transistoren aufgebaute Maschine hat nach den heutigen Erfahrungen nur etwa 5...10% des Energiebedarfs einer äquivalenten Röhrenmaschine, so daß die Lösung der Fragen der Energieversorgung und der Abfuhr der Verlustwärme wesentlich erleichtert wird. Zum Vorteil der viel geringeren Größe der Transistoren selbst kommt hinzu, daß sie z. B. direkt in gedruckte Schaltungen eingelötet werden können, was den Raumbedarf gegenüber Röhrenanordnungen noch weiter verringert. Außerdem läßt sich bei Verwendung von gedruckten Schaltungen eine automatische Serienproduktion einrichten.

Beim Einlöten der Transistoren in Schaltungen wird allerdings als Voraussetzung von der von allen Herstellern vertretenen Annahme ausgegangen, daß die Transistoren eine bedeutend höhere Lebensdauer besitzen als Röhren. Dadurch würden sich hinsichtlich Zuverlässigkeit und Wartung noch beachtliche Vorteile gegenüber Röhrenmaschinen ergeben.

Für die Verwendung von Transistoren in Rechenmaschinen müssen eine Reihe von Gesichtspunkten berücksichtigt werden, die in den üblichen Anwendungsgebieten, wie Schwerhörigengeräte, Rundfunkempfänger und Fernsprecheverstärker, nicht auftreten. Die Rechenmaschinenteknik verwendet die Transistoren vorwiegend als Schalter, als nichtlineare Impulsverstärker oder für Impulsgeneratoren. Daraus ergeben sich zum Teil grundsätzlich andere Forderungen an die Eigenschaften der Transistoren als bei den Schaltungen der Verstärkertechnik. Im folgenden sollen die für die Rechenmaschinenteknik maßgebenden Eigenschaften der Transistoren kurz betrachtet werden. Dabei wird zunächst ein Rückblick auf die anfänglich hoffnungsvoll untersuchten Schaltungen mit Spitzentransistoren gegeben, im folgenden werden dann einige Fragen behandelt, die bei den heute ausschließlich zur Verwendung kommenden Flächentransistoren wichtig sind.

## 1. Spitzentransistoren

Mißt man die Stromverstärkung eines Spitzentransistors in Abhängigkeit vom Emitterstrom, so erhält man den in Abb. 1 dargestellten Verlauf. Es zeigt sich, daß bei mittleren Emitterströmen

Abb. 1. Stromverstärkungsfaktor  $\alpha$  in Abhängigkeit vom Emitterstrom  $I_e$ 

der Stromverstärkungsfaktor größer als 1 ist, daß er bei sehr kleinen und auch bei sehr großen Strömen dagegen unter den Wert 1 absinkt.

Aus der Formel für den Eingangswiderstand, die man aus dem Vierpolersatzschaltbild ableiten kann, ergibt sich, daß für den Bereich  $\alpha > 1$  ein negativer Wert auftritt, so daß also eine Eingangskennlinie mit Dynatroncharakteristik entsteht, die einen von zwei positiven Bereichen eingeschlossenen negativen Bereich bei mittleren Strömen hat. Diese Tatsache kann dazu benützt werden, sehr einfache Multivibratorschaltungen aufzubauen, wobei je nach Wahl des Arbeitspunktes eine monostabile, bistabile oder astabile Schaltung resultiert [1, 2]. Abb. 2 zeigt die am Emitter gemessene Eingangskennlinie mit der Lastgeraden für die bistabile Schaltung als Beispiel. Für die Rechenmaschinenteknik hat die bistabile

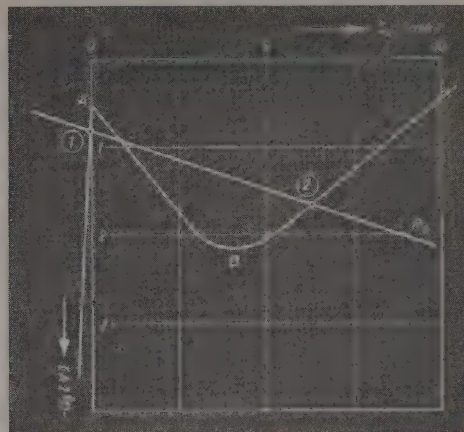


Abb. 2. Schaltkennlinie mit Arbeitspunkten für bistabilen Betrieb

Schaltung, die allgemein auch als Triggerschaltung bezeichnet wird, besondere Bedeutung beim Aufbau von Registern und Kurzzeitspeichern. Zu ihrer Realisierung sind 2 stabile Arbeitspunkte nötig, d. h. die Lastgerade muß die Transistorkennlinie in den beiden Bereichen mit positivem Widerstand schneiden (Abb. 2). Zur Umschaltung vom Aus-Zustand in den Ein-Zustand oder umgekehrt genügt die Zuführung eines kurzen Signals, durch das der Arbeitspunkt über die Spitze A angehoben oder unter den Sattelpunkt B abgesenkt wird. Wenn man eine genügend große Triggerempfindlichkeit fordert, muß man also die beiden Arbeitspunkte 1 und 2 nahe an diese beiden ausgezeichneten Punkte heranrücken. Das bedingt jedoch gewisse Forderungen, die an die Toleranzen der Transistorparameter und der Betriebsspannungen zu stellen sind.

Die Lage der Spitze A hängt in der Hauptsache vom Kollektorsperrstrom bei  $I_e = 0$  ab und schwankt stark sowohl von Exemplar zu Exemplar als auch mit der Raumtemperatur. Sie kann aber durch eine Kunstschaltung mit Hilfe einer Basisdiode [3] in einfacher Weise festgehalten werden. Schwieriger sind die Verhältnisse beim Sattelpunkt B, für dessen Lage fast alle Kenngrößen des Transistors verantwortlich sind. Hier gibt es keine einfache Möglichkeit, eine Stabilisierung herbeizuführen, und man ist meist gezwungen, Toleranzfelder für die Transistoren festzulegen und eine entsprechende Auswahl der Bauteile zu treffen. Ferner wird die Streuung noch erheblich durch die Temperatureinflüsse vergrößert, wie die drei in Abb. 3 eingezeichneten Kennlinien zeigen, die für einen bestimmten Transistor bei verschiedenen Raumtemperaturen aufgenommen wurden.

Da gerade das Zurückschalten aus dem gesättigten Zustand wegen der auftretenden Speichereffekte eine verhältnismäßig große Triggerenergie erfordert [4], kann man auch die Lastgerade nicht beliebig flach legen, um alle Toleranzen aufzufangen und selbst im ungünstigsten Falle den Schnitt in beiden positiven Widerstandsbereichen herbeizuführen. Ferner ist die Umschaltzeit beim Zurückschalten in den stromlosen Zustand bedeutend größer als die für das Einschalten benötigte Zeit.

Aus allen diesen Gründen ist man trotz der bestechenden Einfachheit dieser Schaltung, die nur einen einzigen Transistor je Triggerstufe erfordert, in der letzten Zeit fast vollkommen von ihrer Verwendung in Rechenmaschinen abgegangen. Eine einzige Ausnahme bilden noch etwa nach Art eines Thyratrons wirkende Schaltungen, in denen der Transistor zwar durch ein kurzes Triggersignal einge-

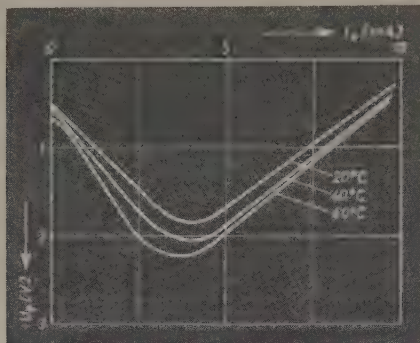


Abb. 3. Schaltkennlinie bei verschiedenen Raumtemperaturen

schaltet wird, die Zurückschaltung in den Aus-Zustand jedoch durch Unterbrechung der Kollektorspannung erfolgt. Bei der kurz beschriebenen bistabilen Schaltung mit nur einem Transistor als aktivem Element handelt es sich um eine unsymmetrische Schaltung (Ein-Zustand und Aus-Zustand sind nach außen hin nicht gleichwertig), und man kann Zähler in einfacher Weise nur in Form von Triggerringen aufbauen. Eine Symmetrierung der einzelnen Stufen ist nur bei Verwendung von 2 Transistoren je Stufe möglich [3, 5].

Ein zweites Anwendungsgebiet für die Spitzentransistoren bildet die monostabile Schaltung zur Erzeugung von kurzen, kräftigen Impulsen. Hier tritt keine Schwierigkeit infolge der Toleranzen auf, wenn man die Spitze A (Abb. 2) durch eine Basisdiode stabilisiert, da der Transistor nach einer Zeit, die im wesentlichen durch die Zeitkonstante der äußeren Schaltelemente bestimmt wird, wieder in den Aus-Zustand zurückkehrt. Man kann hier sehr starke Impulse bei einem sehr niedrigen Innenwiderstand der Quelle erzeugen, doch muß man mit der Stromaussteuerung unterhalb einer gewissen Grenze bleiben, die durch die Stärke des bei der Herstellung des Transistors verwendeten Formierungsstromes gegeben ist. Bei Überschreitung ergeben sich bleibende Änderungen in den Kenndaten des Transistors, und seine Lebensdauer wird stark herabgesetzt.

Dies ist wegen der grundsätzlich anderen Herstellungsweise bei den im nächsten Abschnitt behandelten Flächentransistoren nicht der Fall.

## 2. Flächentransistoren

Mit Flächentransistoren ergeben sich in vielen Punkten bedeutend Vorteile gegenüber dem Spitzentransistor, so daß die Rechenmaschinentechnik immer mehr ihre Verwendung vorzieht. Allerdings zeigt der Flächentransistor eine grundlegende Eigenschaft, die zu völlig anderen Gesichtspunkten beim Aufbau von Schaltkreisen führt: Seine Stromverstärkung in Blockbasis-Schaltung ist stets kleiner als 1, und es kann sich aus diesem Grunde auch kein negativer Eingangswiderstand ausbilden.

### 2.1 Flächentransistoren als Schalter

Abb. 4 zeigt das Kollektorkennlinienfeld eines Flächentransistors in Emitterbasis-Schaltung mit der zugehörigen Lastgeraden und den beiden Arbeitspunkten, die bei einer Aussteuerung als Schalter in Frage kommen. Aus dieser Darstellung können die Forderungen an den Transistor direkt abgelesen werden:

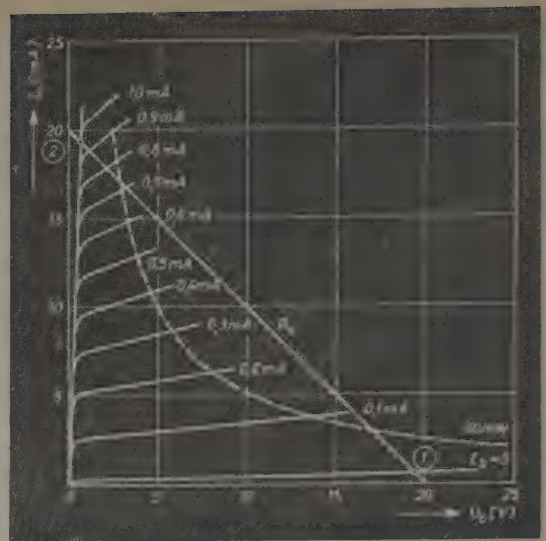


Abb. 4. Kollektorkennlinienfeld eines Flächentransistors

Im Aus-Zustand (Punkt 1), bei gesperrtem Transistor, liegt fast die volle Betriebsspannung an der gesperrten Kollektorstrecke, und es fließt nur ein kleiner Reststrom in der Größenordnung von einigen 10  $\mu$ A. Er bleibt besonders klein und auch von der Umgebungstemperatur wenig beeinflusst, wenn man dafür sorgt, daß an der Basis eine kleine Sperrspannung liegt. Dann bleibt nämlich trotz des fließenden Sperrstromes über Kollektor und Emitter die Emitterdiodenstrecke gesperrt, und der Strom ist nicht größer, als er bei der hinsichtlich Stabilität günstigeren Blockbasis-Schaltung wäre (Abb. 5). Der Arbeitspunkt im gesperrten Zustand ist also so zu wählen, daß auch bei erhöhter Raumtemperatur, mit der man in jeder Maschine rechnen muß, der fließende Reststrom vernachlässigbar bleibt. Andererseits ist der Transistor so auszuwählen, daß bei einer geforderten Betriebsspannung die obige Bedingung erfüllt bleibt. Im Ein-Zustand (Punkt 2 in Abb. 4) wird der Transistor

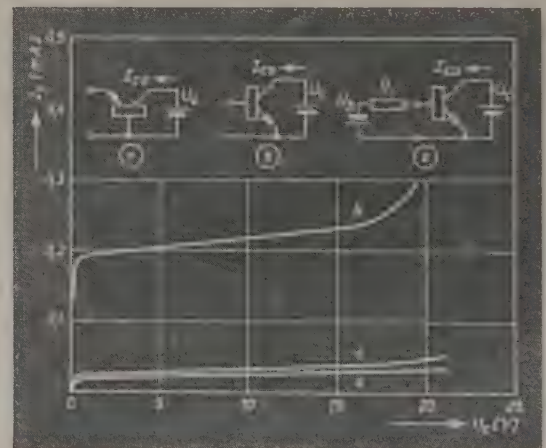


Abb. 5. Sperrkennlinie und Schaltschema des Kollektors, (a) bei offenem Emitter, (b) bei offener Basis ohne Vorspannung, (c) bei Sperrspannung an der Basis ( $U_B = -0,1$  V,  $R_1 = 1$  k $\Omega$ )

durch die Aussteuerung mit einem genügend großen Basis-Strom stark in die Sättigung getrieben, und der Arbeitspunkt befindet sich im Schnittpunkt der Lastgeraden mit der Tangente an die Kennlinienschar im Sättigungsgebiet, deren Neigung den Innenwiderstand im gesättigten Zustand angibt. Zur Erreichung einer vollständigen Sättigung ist es nur erforderlich, daß der Stromverstärkungsfaktor des verwendeten Transistors einen gewissen Mindestwert nicht unterschreitet. Dabei ist jedoch zu beachten, daß dies auch bei hohen Kollektorströmen der Fall sein muß. Bei vielen Transistoren, die für reine Verstärkerzwecke entwickelt wurden, zeigt sich ein starkes Absinken des Stromverstärkungsfaktors bei

höheren Strömen. Abb. 6 zeigt den sehr unterschiedlichen Verlauf der Stromverstärkung in Abhängigkeit vom Emitterstrom, wie er an zwei verschiedenen Mustern handelsüblicher Transistoren gemessen wurde. Da der Stromverstärkungsfaktor bei mittleren Raumtemperaturen zunächst mit der Temperatur ansteigt und erst bei Temperaturen oberhalb von 70°C wieder abzufallen beginnt, sind die Temperatureinflüsse hier meist zu vernachlässigen. Solange der Lastwiderstand groß bleibt gegenüber dem Innenwiderstand im

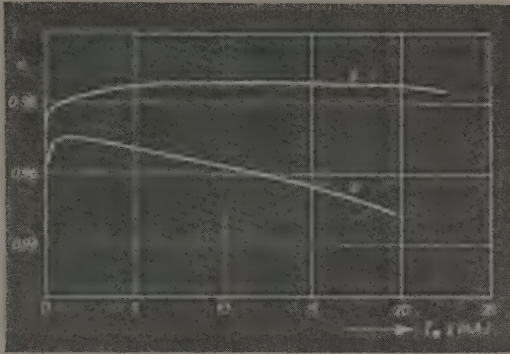


Abb. 6. Stromverstärkungsfaktor  $\alpha$  in Abhängigkeit vom Emitterstrom  $I_E$ ; a) als Schalter geeigneter Transistor, b) als Schalter ungeeigneter Transistor

Sättigungsgebiet, wird der Arbeitspunkt fast nur vom Lastwiderstand und der Betriebsspannung abhängen. Aus demselben Grunde ist der Wirkungsgrad beim Betrieb als Schalter außerordentlich hoch, er liegt weit über 90%, während er bei vergleichbaren Röhren nur 70...75% beträgt, wenn man die zusätzlich erforderliche Heizleistung nicht berücksichtigt.

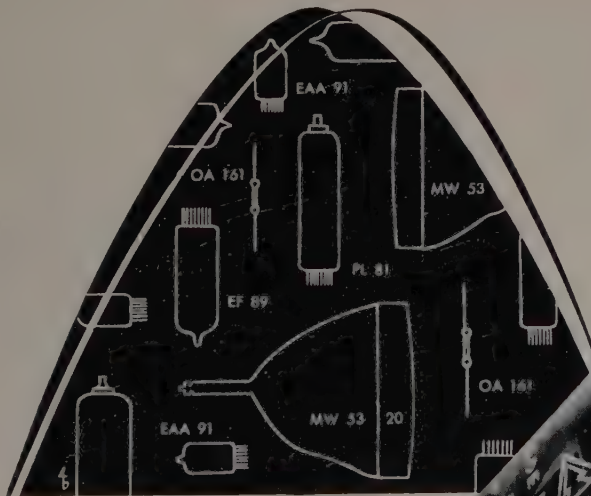
Beim Umschalten selbst durchfährt man kurzzeitig die Verlustleistungshyperbel, so daß also für die Dauer des Umschaltvorganges die zulässige Verlustleistung überschritten wird. Wenn daher eine Triggerstufe sehr häufig umgeschaltet wird, kann das Zeitintegral der beim Umschalten vom Transistor aufgenommenen Leistung einen wesentlichen Beitrag zur gesamten Verlustleistung liefern und ist entsprechend zu berücksichtigen. In diesem Falle hängt die maximal zulässige Stromaussteuerung also auch von der Anstiegszeit des Kollektorstromes und damit wieder von der Grenzfrequenz des Transistors ab. Der Zusammenhang zwischen beiden wurde von [6] ausführlich behandelt. Da eine Berechnung von Anstiegs- oder Abfallzeit auf die Art der gewählten Schaltung Rücksicht nehmen muß und oft nach zeitraubender Rechenarbeit nur annähernd richtige Ergebnisse liefert, bestimmt man sie meist einfacher durch eine direkte Messung. Das oszillografisch erhaltene Bild, von dem ein Beispiel in Abb. 7 angeführt ist, gibt dann sofort Aufschluß über die Eignung des betreffenden Transistortyps für die geplante Anwendung.

Die Grenzfrequenz liegt beim Flächentransistor zwar im allgemeinen niedriger als beim Spitzentransistor, doch wurden in der letzten Zeit so gute HF-Transistoren entwickelt, daß der Flächentransistor auch in dieser Hinsicht dem Spitzentransistor zumindest gleichwertig geworden ist. Eine näherungsweise Berechnung der beim Umschalten vernichteten Leistung läßt sich bei Annahme eines exponentiellen Anstiegs und Abfalls des Stromes leicht durchführen.

Eine weitere Begrenzung der maximalen Umschaltfrequenz und damit auch der maximalen Arbeitsgeschwindigkeit einer Maschine tritt durch die sogenannten Speichereffekte der Ladungsträger im Halbleiter ein. Sie machen sich besonders bemerkbar, wenn der Transistor stark in die Sättigung gesteuert wird, was aus den oben erwähnten Gründen vorteilhaft ist. Doch sind die Speichereffekte bei HF-Transistoren ebenfalls viel kleiner als bei den zur Zeit handelsüblichen NF-Transistoren, wie sie vornehmlich für Schwerhöringeräte hergestellt werden.

# TELEFUNKEN RÖHREN

DIE DEUTSCHE  
WELTMARKE



TELEFUNKEN RÖHREN für Rundfunk- und Fernsehempfänger sind zuverlässig und von hoher Präzision. Sie vereinen in sich alle technischen Vorzüge, die TELEFUNKEN in einer mehr als 50jährigen stetigen Fortentwicklung erarbeitet hat.

## 2.2 Transistor-Flip-Flop

Zum Aufbau einer Multivibratorschaltung sind bei Verwendung von Flächentransistoren grundsätzlich 2 aktive Elemente nötig, wie dies auch bei den entsprechenden Röhrenschaltungen mit Trioden der Fall ist. Auf den ersten Blick mag es scheinen, daß der Aufwand, der beim Bau von Zählern benötigt wird, dadurch verdoppelt wird, da ja gegenüber der Anzahl von Spitzentransistoren die doppelte Anzahl von Flächentransistoren benötigt wird. Dies trifft jedoch nur für Ringschaltungen zu, während hier wegen der Symmetrie der Schaltung genau wie bei den Röhrenschaltungen eine Dekade auch aus nur 4 binären Stufen mit entsprechender Verkopplung aufgebaut

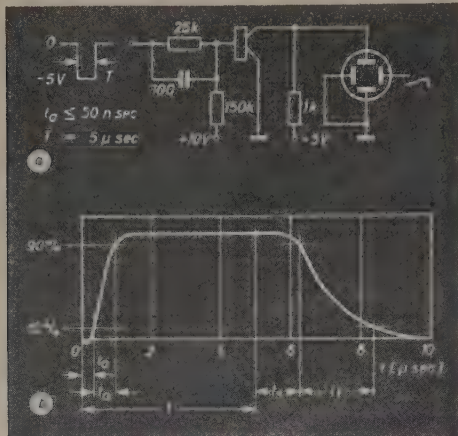


Abb. 7. Messung von Anstiegs- und Abfallzeit; a) Meßschaltung, b) Kollektorstromverlauf.  $t_0$  = Verzögerungszeit,  $t_a$  = Anstiegszeit,  $t_s$  = Speicherzeit,  $t_f$  = Abfallzeit, T = Basisimpulsdauer

werden kann. Man benötigt also nur 8 Flächentransistoren gegenüber 10 Spitzentransistoren beim Aufbau eines dekadischen Rings der eingangs erwähnten Art. Als zusätzlicher Vorteil zeigt sich, daß die Schaltungen viel betriebssicherer und auch weitgehend unabhängiger von Transistortoleranzen und Betriebsspannungsschwankungen sind.

## 2.3 Impuls-Generatoren mit Flächentransistoren

Das ideale Anwendungsgebiet für die Transistoren liegt jedoch nicht im einfachen Ersatz der Röhren, auch wenn sich, wie oben gezeigt, eine bedeutende Verbesserung des Wirkungsgrades z. B. bei Trigger-schaltungen ergibt. Dadurch, daß der Transistor ein niederohmiges Element darstellt, das große Ströme bei kleinen Betriebsspannungen abzugeben in der Lage ist, kommt man z. B. den Forderungen der magnetischen Speicherwerkstoffe an die Treiberstufen und Impuls-generatoren viel näher, als dies mit Röhren möglich ist. Infolge des völlig anderen Leitungsmechanismus in einem Halbleiter kann man hier, ohne daß ein starkes elektrisches Feld vorhanden sein muß, viel größere Stromdichten erzielen, als dies bei Entladungsgefäßen möglich ist. Bei nur 1 V Kollektorspannung Impulsströme von 0,5...1 A zu erzeugen, ist auch bei kleinen 50-mW-Transistoren ohne weiteres möglich, sofern man nur durch entsprechende Wahl des Tastverhältnisses dafür sorgt, daß die zulässige Verlustleistung nicht überschritten wird. Ferner kann man wegen der Niederohmigkeit der Quelle die Impulse sehr einfach über Leitungen mit relativ hoher Kapazität führen, was für die Programmierung einer Maschine, die vielfach über eine Schalttafel mit Buchsenfeldern und flexiblen Ver-bindungsschnüren erfolgt, von großem Vorteil ist. Die bei Schalt-tafeln auftretenden Kapazitäten können größenordnungsmäßig 10 nF betragen. Man spart dabei die bei Röhrenmaschinen un-bedingt erforderlichen Anodenbasis-Stufen, die zur Impedanztrans-formation eingesetzt werden müssen.

## 2.4 Flächentransistoren in Verstärker-Kreisen

Die, verglichen mit der Spannungsaussteuerung bei einer Röhre, andere Art der Aussteuerung eines Transistors durch einen Strom führt ebenfalls auf grundsätzlich andere Erwägungen bei der Auslegung

einer Schaltung. Daß man z. B. bei der Auslegung einer Trigger-schaltung auch den Eingangsstrom der beiden Stufen berücksichtigen muß, wodurch sich die Berechnung der statischen Arbeitspunkte etwas erschwert, soll nur am Rande erwähnt werden. Viel bedeut-samer ist der Unterschied gegenüber Röhrenschaltungen, wenn gleich-stromgekoppelte Impulsverstärker-Stufen aufgebaut werden sollen. Hier lassen sich zwei gleichartige Stufen in Emitterbasisschaltung nicht hintereinander schalten, weil die gesperrte erste Stufe nicht den Steuerstrom für die nächste Stufe zu liefern vermag, während bei einer Verwendung von Röhren eine Hintereinanderschaltung ohne weiteres möglich ist. Dieser scheinbare Nachteil wird aber dadurch wieder wettgemacht, daß *npn*- und *pnp*-Transistoren zur Verfügung stehen, die man abwechselnd hintereinander schalten kann. Über die vielerlei anderen Möglichkeiten, die bei der Ver-wendung von komplementären Transistoren bestehen, wurde schon mehrfach in der Literatur berichtet [7, 8]. In einem Sonderfall, nämlich bei den neuen Oberflächen-Sperrschicht-Transistoren, ist sogar eine direkte Kopplung zwischen Kollektor des einen und Basis des folgenden Transistors gleicher Art möglich, so daß sich hier eine ganz neue Schaltungstechnik erschließt, die vorteilhaft zur Ent-wicklung von Maschinen ausgenutzt werden kann, in denen die Anzahl der Transistoren die der passiven Elemente bei weitem über-wiegt [9].

## 3. Lebensdauer

Eine besonders wichtige Frage ist die der Lebensdauer der Transi-storen. Während man bei den heute verwendeten Röhren für Rechen-maschinen allgemein 10000 Stunden als Mindestlebensdauer fordert, hat man diese Forderung für die Transistoren auf 20000 Stunden erhöht. Fachleute aus den Kreisen der Transistorhersteller sprechen jedoch von bedeutend größeren Lebensdauererwartungen. Das Ziel muß es sein, die Lebensdauer der Transistoren so groß wie die der übrigen Schaltelemente zu machen, da sämtliche Elemente in Bau-steinen fest miteinander verlötet werden sollen, und eine leichte Auswechselbarkeit der Transistoren aus Fertigungsgründen ohne zusätzliche Kosten schwer zu realisieren ist. Wie weit sich diese Forderung erfüllen läßt, müssen erst die Dauerversuche ergeben, die zur Zeit laufen.

## 4. Stand der Technik

In Deutschland wurde, soweit bekannt, außer kleinen Versuchs-modellen in den Laboratorien noch keine Rechenmaschine mit Transistoren gebaut, und so kann nur auf die von der IBM in Amerika im November des Vorjahres gezeigte, vollständig mit Transistoren ausgerüstete Rechenmaschine mittlerer Größe hin-gewiesen werden. Bei dieser Maschine sind die Transistoren mit den Schaltelementen auf Karten aus Isolierstoff in Form einer gedruckten Schaltung zusammengebaut. Gegenüber der gleichwertigen Röhren-maschine ergab sich eine Raumersparnis von 50% und eine Ver-minderung des Energiebedarfs um 95%. Diese erste Erfüllung der theoretischen Erwartungen durch die Praxis zeigt deutlich, daß durch den Einsatz von Transistoren an Stelle von Röhren ein be-deutender Fortschritt in der Technik der elektronischen Rechen-maschinen erreicht werden kann.

## Schrifttum

- [1] Lo, A. W.: Transistor Trigger Circuits. Proc. IRE Bd. 40 (1952) S. 1531—1541
- [2] Anderson, A. E.: Transistors in Switching Circuits. Proc. IRE Bd. 40 (1952) S. 1541—1558
- [3] Trent, R. L.: Binary Counter Uses Two Transistors. Electronics Bd. 25 (1952) S. 100—101
- [4] Lebow, I. L., u. Baker, R. H.: The Transient Response of Transistor Switching Circuits. Proc. IRE Bd. 42 (1954) S. 938—943
- [5] Eberhard, Endres, u. Moore: Counter Circuits Using Transistors. RCA Rev. Bd. 10 (1949) S. 459—476
- [6] Moll, J. L.: Large Signal Transient Response of Junction Transistors. Proc. IRE Bd. 42 (1954) S. 1773—1784
- [7] Sziklai, G. C.: Symmetrical Properties of Transistors and their Applications. Proc. IRE Bd. 41 (1953) S. 717—724
- [8] Lohman, R. D.: Complementary Symmetry in Transistor Circuits. Electronics Bd. 26 (1953) S. 140—143
- [9] Beter, R. H., Bradley, W. E., Brown, R. B., u. Rubinoff, M.: Directly Coupled Transistor Circuits. Electronics Bd. 28 (1955) S. 132—136

# Anforderungen an Germaniumdioden für elektronische Rechenmaschinen

DK 621.314.7:546.289:681.142—83

Der technische Fortschritt auf dem Gebiet der elektronischen Rechenmaschinen und der elektronischen Steuerungstechnik (Kybernetik) ist eng verknüpft mit der stetigen Verringerung der Abmessungen von Bauelementen und der Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades der benutzten Grundschaltungen. Hat man bisher diese Grundschaltungen, wie Multivibratoren, Trigger, Inverter, Leistungsstufen und Impulsschleusen, vorwiegend mit Elektronenröhren bestückt, so bedient man sich in den letzten Jahren in steigendem Maße der Halbleiterelemente. Besonders Germaniumdioden sind bereits auf breiter Basis zum Einsatz gekommen, wie später an einem Beispiel gezeigt wird. Es ist leicht einzusehen, daß die Anwendung von Halbleiterelementen statt Röhren neben geringen Abmessungen auch einen wesentlich geringeren Strombedarf zur Folge hat und somit auch eine Vereinfachung der Einrichtungen zur Stromversorgung und Wärmeabfuhr ermöglicht.

Besonders geeignet sind Germaniumdioden zum Aufbau von Impulsschleusen, auch als „UND“- und „ODER“-Schalter bezeichnet. Hiermit lassen sich auf verhältnismäßig einfache Weise Schaltungen zur Codeübersetzung, Stellenversetzung, Gültigkeitsprüfung und Rechensteuerung zusammenstellen. Mitunter wird hierfür auch der Ausdruck „logische Schaltungen“ gebraucht. In dem folgenden Abschnitt sollen einige Möglichkeiten der Anwendung von Germaniumdioden in solchen Schaltungen betrachtet werden.

In einem früheren Aufsatz in dieser Zeitschrift [1] wurde die Wirkungsweise von „UND“- und „ODER“-Schaltern auf Röhrenbasis beschrieben. Es geht daraus hervor, daß ein Schalter mit 2 Eingängen eine Heptode oder eine Doppeltriode erfordert. Dagegen können solche Schalter unter Verwendung von geeigneten Germaniumdioden mit 2 oder mehr Eingängen gebildet werden, wobei pro Eingang eine Diode erforderlich ist [2]. In Abb. 1 ist ein „ODER“-Schalter mit 3 Eingängen dargestellt. Im Normalfall herrscht an jedem der 3 Eingänge  $e_1 \dots e_3$  ein negatives Potential  $-U_1$ . Die Vorspannung  $-U_0$  am gemeinsamen Außenwiderstand  $R$  ist ebenfalls negativ. Am Ausgang  $a$  wird sich dann gleichfalls ein negatives Potential einstellen. Trifft nun an einem Eingang ein positiver Impuls ein, so wird er über den geringen Durchlaßwiderstand der Diode mit etwa gleicher Amplitude  $+U_2$  am Ausgang  $a$  erscheinen. Er kann die übrigen Eingänge nicht beeinflussen, da deren Dioden dem Impuls ihren Sperrwiderstand entgegensetzen. Einen Ausgangsimpuls erhält man also, wenn bei  $e_1, e_2$  oder  $e_3$  ein positiver Impuls eintrifft. Daher die Bezeichnung „ODER“-Schalter oder auch Mischer.

Einen „UND“-Schalter zeigt Abb. 2. Auch hier herrscht im Normalfall an jedem der 3 Eingänge  $e_1 \dots e_3$  ein negatives Potential  $-U_1$ . Dagegen ist die Vorspannung  $+U_0$  am gemeinsamen Außenwiderstand  $R$  positiv. Trifft an einem Eingang ein positiver Impuls ein, so verringert sich nur der Stromfluß durch die betreffende Diode, der Impuls kann nicht bei  $a$  erscheinen, da die übrigen Eingänge über den niedrigen Durchlaßwiderstand ihrer Dioden das negative Potential bei  $a$  halten. Erst wenn sich alle Eingänge gleichzeitig auf positivem Potential befinden, kann ein Ausgangsimpuls bei  $a$  erscheinen. Es müssen also bei  $e_1, e_2$  und  $e_3$  positive Impulse gleichzeitig eintreffen, um einen Ausgangsimpuls zu bewirken. Daher die Bezeichnung „UND“-Schalter oder auch Koinzidenzschalter.

Zum besseren Verständnis des Zusammenspiels mehrerer Schalter gibt Abb. 3 eine Schaltungsanordnung, die folgende Forderung erfüllt: Ein Ausgangsimpuls soll dann und nur dann erscheinen, wenn bei  $e_1, e_2$  und  $e_3$  oder bei  $e_4$  und  $e_5$  gleichzeitig Impulse eintreffen oder wenn ein einzelner Impuls bei  $e_6$  eintrifft.

Neben den geschilderten Anwendungsmöglichkeiten kann man Germaniumdioden auch als Clipper verwenden, um beispielsweise bei differenzierten Impulsen das Überspringen der Flanken zu vermeiden und ihre ursprüngliche Amplitude und Rechteckform wiederherzustellen. Außerdem kann man sie vorteilhaft als richtungsabhängige Koppelemente (meist mit Sperrzellen bezeichnet) in Impulsschaltungen einschalten.

Bei der in einer elektronischen Rechenmaschine vorhandenen Vielzahl solcher Schaltungen müssen die verwendeten Germaniumdioden mit Rücksicht auf die Betriebssicherheit der Maschinen ganz besondere Anforderungen erfüllen. Auf dem Gebiet der elektronischen Rechenanlagen, wie überhaupt in der gesamten Kybernetik, genügt die Kenntnis der in den Datenblättern veröffentlichten statischen Kenngrößen nicht. Vielmehr spielen die dynamischen Eigenschaften für den Impulsbetrieb eine übergeordnete Rolle. Entsprechend umfangreich sind daher auch die Prüfungen, die an jeder einzelnen für die oben erwähnten Impulsschleusen verwendeten Germaniumdiode vorgenommen werden [3]. Ein wesentlicher Punkt ist hierbei die Aufnahme der dynamischen Kennlinie mit Hilfe eines Kennlinienschreibers mit automatischer Maßstabsumschaltung beim Nulldurchgang des Stromes. (Die Kennlinie wird sekundlich 50mal über den gesamten Durchlaß- und Sperrbereich geschrieben.) Durch Einblenden einer Widerstandsgeraden in die Kennlinie kann der Sperrwiderstand gemessen werden. Ferner werden die Konstanz der Kenn-

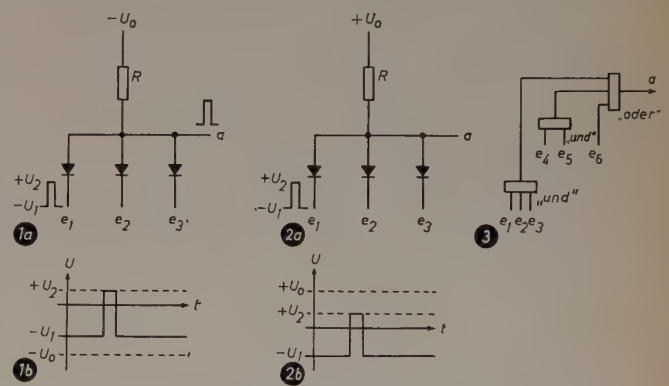


Abb. 1. „ODER“-Schalter, (a) Schaltung, (b) Spannungsdiagramm.

Abb. 2. „UND“-Schalter, (a) Schaltung, (b) Spannungsdiagramm.

Abb. 3. Anwendungsbeispiel für Impulsschleusen

linie und der differentielle Widerstand  $du/di$  beobachtet. Letzterer darf im Sperrbereich weder Null noch negativ werden und im Durchlaßbereich nicht asymptotisch verlaufen (Sättigung). Ein etwa auftretender Hysterese-Effekt (Auftreten zweier verschiedener Kennlinien für Hin- und Rücklauf) wird in seiner Größe durch die größte vertikale Entfernung  $\Delta i$  der Kennlinien beurteilt (Abb. 4). Für diesen Betrag  $\Delta i$  ist ein Maximalwert festgelegt, der nicht überschritten werden darf. Ein entsprechender Grenzwert gilt auch für ein etwaiges Wandern oder Umspringen der Kennlinie beim Rütteln der Diode.

Durch die moderne, bei der Herstellung der Germaniumdioden angewandte Fertigungstechnik wird zwar eine hohe Feuchtigkeitsunempfindlichkeit gewährleistet; trotzdem wird auch in dieser Hinsicht eine dynamische Prüfung nach einer längeren Temperatur-Feuchtigkeits-Behandlung durchgeführt. Weiterhin dient die Aufnahme der dynamischen Kennlinie dazu, bleibende Veränderungen der Diode nach einem Impuls in der Größe der maximalen Sperrspannung und ebenso nach einem Impuls, der die maximale Verlustleistung bewirkt, festzustellen. Auch hier sind Grenzwerte für die Abweichung von der Ursprungskennlinie festgelegt, die etwa denen für Hysterese entsprechen.

Ein bisher noch wenig berücksichtigter Effekt beruht auf der endlichen Rekombinationszeit der Ladungsträger in der Grenzschicht [4]. Er tritt in Erscheinung, wenn eine Diode aus dem Durchlaßbereich



## DIE STEUERUNG

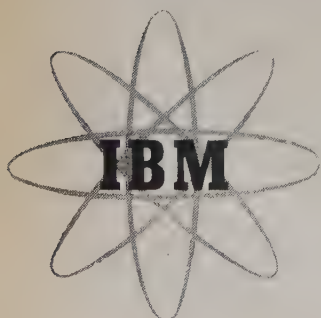
## IHRES UNTERNEHMENS...

... muß auf genauen Informationen über den Markt und den eigenen Betrieb beruhen. Einen wesentlichen Teil dieser Informationen liefert das Rechnungswesen. Die Aktionsfähigkeit eines Betriebes in der Wettbewerbswirtschaft hängt von der Leistung des Rechnungswesens ab. Die höchstentwickelte Organisationsform des Rechnungswesens ist das Lochkartenverfahren. Es bietet schnell vorliegende und aussagefähige Dispositionsunterlagen.

### Unsere Lochkartenorganisatoren

sind sorgfältig ausgebildete und erfahrene Spezialisten, die berufen sind, das Papierwerk auch in Ihrem Hause zu rationalisieren, dem Rechnungswesen Aussagefähigkeit und Schwung zu geben und Ihre Angestellten von der Last monotoner Routinearbeit zu befreien.

## IBM DEUTSCHLAND



Internationale Büro-Maschinen  
Gesellschaft m. b. H.

Hauptverwaltung  
Sindelfingen bei Stuttgart

Geschäftsstellen  
in allen größeren Städten

impulsmäßig in den Sperrbereich getastet wird. Man kann dann beobachten, daß eine gewisse Zeit (etwa einige Mikrosekunden) benötigt wird, bis sich der hohe statische Sperrwiderstand einstellt. Dieser in der amerikanischen Literatur mit „recovery-time“ bezeichnete Effekt ist quantitativ von der Höhe des unmittelbar zuvor fließenden Durchlaßstromes abhängig. Da auch beim Übergang vom Sperrbereich in den Durchlaßbereich eine endliche Zeitspanne zum Erreichen des niedrigen statischen Durchlaßwiderstandes erforderlich ist, unterscheidet man eine „back recovery-time“ und eine „forward recovery-time“ [5]. Die letztere ist für die hier behandelten Dioden aber von sekundärer Bedeutung. Einheitliche Meßbedingungen haben sich bisher noch nicht eingeführt, desgleichen ist die Bezeichnungsweise recht unterschiedlich.

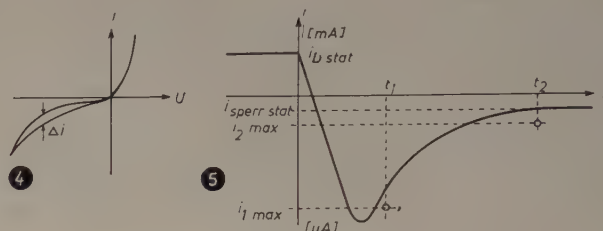


Abb. 4. Hysterese-Effekt (Auftreten zweier verschiedener Kennlinien für Hin- und Rücklauf). Abb. 5. Schematische Darstellung des Sperrstromverlaufs einer Diode bei der Prüflastung mit hochfrequenten Rechteckspannungen zwecks Ermittlung der Wiederherstellungszeit des Sperrwiderstandes

Da beim Betrieb der Dioden mit hohen Frequenzen und kurzen Impulszeiten eine lange Wiederherstellungszeit des Sperrwiderstandes sich praktisch wie ein erheblich unter dem statisch gemessenen liegender Sperrwiderstand auswirkt, werden z. B. die für die oben erwähnten Impulsschleusen zu verwendenden Dioden in folgender Weise geprüft: Die Dioden werden mit Hilfe einer hochfrequenten Rechteckspannung so belastet, daß ein hoher Durchlaßstrom und eine hohe Sperrspannung abwechselnd auftreten. In zwei verschiedenen zeitlichen Abständen  $t_1$  und  $t_2$  vom Übergang aus dem Durchlaß- in den Sperrbereich werden oszillografisch die Werte des Sperrstromes gemessen. Sie dürfen zwei festgelegte Grenzwerte  $i_{1\max}$  und  $i_{2\max}$  nicht überschreiten. Ein Kurvenbeispiel hierzu zeigt Abb. 5. Da die Zeiten  $t_1$  und  $t_2$  nur nach Mikrosekunden zählen, wird für die Rechteckspannung eine sehr hohe Flankensteilheit gefordert.

Aus der vorstehenden Schilderung der Prüfmethode läßt sich ersehen, daß an die zu verwendenden Meß- und Prüfgeräte recht hohe Anforderungen zu stellen sind und daß die Prüfungen selbst einen großen Zeitaufwand erfordern. Sie sind indessen notwendig, um ein einwandfreies Arbeiten der heutigen komplizierten Rechenanlagen zu gewährleisten. Sie machen es möglich, einen hohen Grad an Betriebssicherheit zu verwirklichen. Es läßt sich voraussehen, daß die Anforderungen an die Konstanz der hier geschilderten dynamischen Kennwerte neben den statischen Kennwerten immer schärfer werden, da die Rechenmaschinen und Steuerungsanlagen, die in den kommenden Jahren entworfen und erprobt werden, immer komplizierteren Aufgaben gerecht werden müssen. In Amerika existieren von verschiedenen Herstellerfirmen Maschinentypen, die viele tausend Germaniumdioden enthalten. Diese Maschinen haben sich gut bewährt, und es ist vorauszusehen, daß sich auch in Europa eine ähnliche Entwicklung anbahnen wird.

### Schrifttum

- [1] Schröter, O.: Die Bedeutung der Elektronik für die Lochkarten-Rechenmaschinentechnik. ELEKTRONISCHE RUNDSCHAU Bd. 9 (1955) S. 173—178
- [2] Richards, R. K.: Arithmetic Operations in Digital Computers. New York 1955, D. van Nostrand Comp., Inc.
- [3] Crawford, D. J., und Heath, H. F.: Germanium-Diode-Testing-Program. 1952. Herausg. IBM
- [4] Jordan, J. P.: The ABC's of Germanium. Electr. Engng. Bd. 7 (1952) S. 619—625
- [5] Firlie, T. E., McMahon, M. E., und Roach, J. F.: Recovery-Time-Measurements on Point-Contact-Germanium-Diodes. Proc. IRE Bd. 5 (1953) S. 603—607
- [6] Einsele, Th.: Über die Trägheit des Flußleitwertes von Germanium-Dioden. Z. angew. Phys. Bd. 4 (1952) Nr. 5

## Klangstruktur der Musik. Neue Erkenntnisse musik-elektronischer Forschung

Im Auftrage des Außeninstituts der Technischen Universität zusammengestellt und bearbeitet von F. Winkel. Berlin 1955, VERLAG FÜR RADIO-FOTO-KINOTECHNIK GMBH, Berlin-Borsigwalde. 224 S. m. 140 Abb. Format DIN A 5. Preis in Ganzleinen gebunden 18,50 DM.

Die vom Außeninstitut der Technischen Universität Berlin-Charlottenburg gemeinsam mit dem Elektrotechnischen Verein Berlin im Jahre 1954 veranstaltete Vortragsreihe „Musik und Technik“ (s. auch FUNK UND TON Bd. 8 (1954) Nr. 4, S. 218—221) hat weit über den Kreis der damaligen Hörer hinaus im In- und Ausland große Beachtung gefunden. Inzwischen sind auf einer Reihe internationaler Tagungen die vielfältigen, wechselseitigen Beziehungen dieser beiden Gebiete wiederholt interpretiert und diskutiert worden, und es ist deshalb zu begrüßen, daß jetzt die Vorträge in überarbeiteter Form und auf den neuesten Stand der Technik gebracht auch in Buchform vorliegen. Einige Ergänzungsbeiträge haben den Themenkreis noch weiter abgerundet. Für den Elektroakustiker und den an den Beziehungen zur Technik interessierten Musiker liegt damit eine geschlossene Übersicht über den heute besonders aktuellen Fragenkomplex vor.

Das in seiner Art in der deutschen Literatur wohl einzige Werk bringt in 10 Kapiteln Beiträge führender Spezialisten: Winkel, Naturwissenschaftliche Probleme der Musik; Dräger, Die historische Entwicklung des Instrumentenbaues; Lottermoser, Akustische Untersuchungen an alten und neuen Orgeln; Sala, Subharmonische elektrische Klangsynthesen; Poullin, Musique Concrète; Meyer-Eppler, Elektronische Musik; Enkel, Die Technik des Tonstudios; Steinhäuser, Musische Technik; Blacher, Die musikalische Komposition unter dem Einfluß der technischen Entwicklung der Musik; Stuckenschmidt, Musik und Technik. Ein Fachwortverzeichnis in deutscher, englischer und französischer Sprache vervollständigt das Buch und erleichtert dem ausländischen Fachmann die Lektüre. Andererseits ist es für den deutschen Leser ein Hilfsmittel für das Studium ausländischer Quellen.

Ausgehend von dem quasistationären Zustand des musikalischen Materials und der Bedeutung der Ausgleichsvorgänge in der Musik als dem eigentlichen belebenden Element führt das Buch über die historische Entwicklung und die Untersuchungen an Orgeln mit dem Kapitel Subharmonische elektrische Klangsynthese direkt in eines der modernsten Gebiete der elektronischen Musik — die es sich nicht zum Ziel gesetzt hat, bekannte Klangbilder mit elektronischen Mitteln nachzubilden, sondern neuartige Töne und Klänge, die die Natur zum Teil nicht kennt, durch verschiedenartige Umformungen synthetisch erzeugen will — befassen sich die Kapitel Musique Concrète und Elektronische Musik, wobei auch die besondere Problematik der Notation derartiger Klänge ihre Würdigung findet. Der Beitrag „Die Technik des Tonstudios“ gibt dem Praktiker für seine tägliche Arbeit einen ausgezeichneten Überblick über den heutigen Stand der Technik dieses Teils der Kommunikationskette, die ihren Ursprung beim Komponisten hat und in der akustischen Sphäre des Hörers endet. Die drei letzten Kapitel behandeln Fragen, die für den ausübenden und schaffenden Musiker heute in gleichem Maße von Bedeutung sind und mit denen er sich so oder so auseinandersetzen muß.

Wegen seines vielseitigen Inhalts spricht das ausgezeichnet ausgestattete Werk einen großen Leserkreis an. Es gibt dem Physiker, dem ausübenden und schaffenden Musiker sowie dem Instrumentenbauer ebenso wertvolle Informationen wie dem Elektroakustiker, Tonmeister und dem Ingenieur in der Industrie. Daneben werden Lehrer und Studierende an Musikhochschulen, Konservatorien, Technischen Hochschulen und Fachschulen immer wieder gerne zu diesem ausgezeichneten Buch greifen. R.

## VDE-Fachberichte 1954

Herausgegeben vom Verband Deutscher Elektrotechniker. Wuppertal-Elberfeld 1955, VDE-Verlag. VII/254 S. m. 448 Abb. DIN A 4. Preis broschiert 19,— DM.

Der 18. Band der VDE-Fachberichte enthält 38 Vorträge, die auf der 48. Jahresversammlung des VDE vom 20. bis 25. September 1954 in Hamburg gehalten wurden. Diese Tagung stand unter dem Motto „Elektrotechnik und Schifffahrt“, aber in der Fülle der Themen finden der Nachrichtentechniker und der Elektroingenieur zahlreiche Vorträge, die auch ihn direkt ansprechen. Es seien hier nur erwähnt: Katz, Grundformen und Anwendung rechnender Netzwerke in der Regelungstechnik; Looe, Die Bemessung von Gleichstrommaschinen für Regelzwecke; Dietz, Die dynamischen Eigenschaften magnetischer Verstärker; Peters, Stabilisierung geschlossener Verstärkungs- und Regelkreise; Siehling, Der

# BOSCH MP-Leuchtröhren-Kondensatoren



KO 555

BOSCH-MP-Leuchtröhren-Kondensatoren sind selbstheilend und dadurch unempfindlich gegen Spannungsspitzen. Sie brauchen nach dem Einbau praktisch nie mehr kontrolliert zu werden.

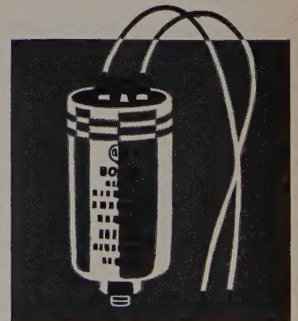
## Wir liefern

BOSCH-MP-Leuchtröhren-Kondensatoren in Aluminiumgehäuse mit Bakelitdeckel, angelöteten Entladewiderständen, 250 mm langen Anschlußdrähten und Gewindebolzen am Gehäuseboden zum Befestigen und Erden des Gehäuses für 220-Volt-Spannung und Kapazitäten von 2 bis 20  $\mu$ F.

Spezialtypen für die Duoschaltung von Leuchtstofflampen.

Phasenschieberkondensatoren ab 66  $\mu$ F Kapazität für die Kompensierung ganzer Lichtanlagen.

Verlangen Sie unsere technischen Druckschriften und den Rat unserer Fachleute.



ROBERT BOSCH GMBH STUTTGART  
Postfach 50

Magnetverstärker für schnelle Regelungen; Beckmann, Über den derzeitigen Stand der Funkwettervorhersage; Saal, Neuere Verfahren für den Entwurf hochwertiger Filter; Dosse, Transistorschaltungen; Nestel, Stand und Aussichten des Fernseh-Rundfunks.

Diese kleine Auswahl mag einen Einblick in die Vielfalt der Themen geben. Entsprechend der Tradition der Jahresversammlungen bieten die Vorträge entweder als Übersichtsvorträge einen umfassenden Überblick über ein Teilgebiet der Technik oder sie vermitteln neueste Erkenntnisse auf Spezialgebieten. Der 18. Band schließt sich seinen Vorgängern würdig an und wird wie diese ein auch noch nach Jahren zur Unterrichtung stets gerne wieder zur Hand genommenes Sammelwerk sein. ro.

### Schaltungsbuch der Industriellen Elektronik

Von R. Kretzmann. Berlin 1955, VERLAG FÜR RADIO-FOTOKINOTECHNIK GMBH, Berlin-Borsigwalde. 224 S. m. 206 Abb. Format DIN A5. Preis in Ganzleinen geb. 17,50 DM.

Entsprechend der zunehmenden Bedeutung der Elektronik sind in den letzten Jahren auch in der deutschen Literatur mehrere Werke erschienen, die teils die theoretischen Grundlagen, teils die praktischen Anwendungen der Elektronik behandeln. Wenn dabei die industriellen Anwendungen im Vordergrund stehen, so ist das nicht verwunderlich, denn gerade für dieses Gebiet bietet sich der Einsatz elektronischer Methoden und Hilfsmittel geradezu an. Das im Vorjahr erschienene „Handbuch der Industriellen Elektronik“ des Verfassers ist in Deutschland heute schon zu einer Art Standardwerk geworden. Mit dem soeben erschienenen „Schaltungsbuch der Industriellen Elektronik“ liegt jetzt ein Werk vor, das bisher in der deutschen Literatur gefehlt hat und eine oft empfundene Lücke ausfüllt. Ebenso wie das Handbuch wird in Zukunft auch das Schaltungsbuch zum unentbehrlichen Rüstzeug eines jeden Ingenieurs und Technikers gehören, der sich diesem modernen Zweig der Technik verschrieben hat. Es bringt nahezu 200 verschiedenartige, sorgfältig ausgewählte Schaltungen elektronischer Geräte und Anlagen, die dadurch besonders wertvoll sind, daß sie auch durchweg die genaue Dimensionierung enthalten, ein Umstand, der sich beim Aufbau elektronischer Geräte praktisch bewähren dürfte. Die eingehende Beschreibung der Schaltelemente und ihrer Wirkungsweise erleichtert das Verständnis der funktionellen Zusammenhänge beträchtlich und gibt gleichzeitig wertvolle Hinweise für alle die Fälle, in denen eine andersartige Anpassung an die jeweiligen örtlichen Verhältnisse notwendig ist. Übersichtlich gezeichnete Schaltbilder und gut ausgewählte Fotos ausgeführter Geräte ermöglichen ein schnelles Erfassen des in reicher Fülle gebotenen Materials.

Einen Überblick über den vielseitigen Inhalt mögen die Überschriften der sechs Kapitel geben: Fotoelektrisch gesteuerte Einrichtungen, Zähschaltungen, Stabilisierungsschaltungen, Schalt- und Steuereinrichtungen, Oszillator- und Verstärkerschaltungen, Gleichrichterschaltungen. Aus diesen Kapiteln seien als Beispiele für die Vielheit der Anwendungen herausgegriffen: Lichtmengenmesser, Zähleinrichtung für Produktionsmaschinen, Seitensteuergerät, 150-kHz-Zähldekade, Treiberstufen für mechanische Zählwerke, Sechsstufige Übersetzerschaltung für GM-Zählrohre, Ringzählerschaltung mit Relaisröhre Z 50 T, Impulsverzögerungsschaltung, Schaltung zur Steuerung einer Zentrifugal-Gießmaschine, Zeitgeber für zwei Intervalle, Ladekontrolle bei Förderbändern, Eisen-suchgerät, Nachlaufsteuerung, Bühnenbeleuchtungsanlage, 30-W-Senderverstärker auf 430 MHz, Radiosonde, Generatorschaltung für schmale Impulse, Magnetostruktiver 400-W-Ultraschallgenerator, 500-W-NF-Verstärker, Spannungsregler der Sechsstufigen Gleichrichter für Buchhaltungsmaschinen, Wickelantriebssteuerung. Ein umfassendes Schrifttums- und Quellenverzeichnis vermittelt den Zugang zu weiteren Arbeiten, wenn ein eingehenderes Studium für bestimmte Spezialfragen notwendig ist.

Das Schaltungsbuch präsentiert sich so als würdige Ergänzung des Handbuchs des bekannten Verfassers und wird sich in Kürze seinen festen Platz nicht nur in der Bibliothek und am Arbeitsplatz des Entwicklungsingenieurs und Physikers sondern auch in der Hand des Betriebsingenieurs und des Konstrukteurs im Maschinenbau erobern. —th

### Technique et Applications des Transistors

Von H. Schreiber. Paris 1955, Société des Editions Radio. 157 S. m. 181 Abb. Format DIN C 5. Preis brosch. 720 fr.

Die vorliegende Broschüre ist eine wohlgelungene, allgemeinverständlich gehaltene Einführung in die Physik und Technik der Transistoren. Nach kurzer Darstellung der Wirkungsweise geht der Verfasser auf die physikalischen Vorgänge im Transistor und die Technologie der verschiedenen Transistorarten einschließlich des Photo-Transistors ein. Die ausführliche Behandlung der drei wichtigen Grundschaltungen läßt den Leser das Verhalten des Transistors bei den Anwendungen verstehen. Nach Diskussion der Methoden zur Messung von Transistoren behandeln die folgenden Abschnitte die NF-Verstärkung in Vor- und Endstufe, wobei auch die Gegen-

kopplung und die Methoden zur Kompensation des Temperatureffektes gebührend berücksichtigt werden. Die Anwendungen in der HF-Technik finden in den Kapiteln „Transistor-Oszillatoren“, „Gleichrichtung“ und „Empfänger mit Transistoren“ die ihnen zukommende Beachtung. Das abschließende Kapitel endlich behandelt elektronische Anwendungen. Im Anhang findet man Ergänzungen mehr theoretischer Art über die Vierpoleigenschaften des Transistors und seine verschiedenen Parameterdarstellungen.

Wegen seiner leicht lesbaren Darstellung wird dieses kleine Werk auch in Deutschland seine Leser finden und ihnen die Eigenschaften des Transistors verständlich machen. R.

## AUS INDUSTRIE UND TECHNIK

### Ein neues Bauelement für den Werkzeugmaschinenbau — die schleifringlose Magnetkupplung

Zu der im Heft 9/1955, Seite 328—329, veröffentlichten Arbeit von K.-H. Decker sei ergänzend darauf hingewiesen, daß es sich bei der beschriebenen schleifringlosen Magnetkupplung um eine Entwicklung der Pintsch-Bamag AG, Berlin NW 87, handelt.

### Impedanz-Meßbrücke

Die neue Z-Y-Brücke Typ „1603-A“ der General Radio Company, Cambridge, Mass., zeichnet sich dadurch aus, daß sie für praktisch jede Impedanz abgleichbar ist. Ein Brückenabgleich ist bei offenen und kurzgeschlossenen Anschlußklemmen, bei reellen und imaginären Widerständen möglich. Die Brücke arbeitet im Frequenzbereich von 20 Hz ... 20 kHz und mißt direkt die Komponenten einer komplexen Impedanz der Form  $Z = R + jX$  oder einer komplexen Admittanz  $Y = G + jB$ .  $Z$  oder  $Y$  können dabei in jedem Quadranten der komplexen Ebene liegen, da die Brücke sowohl positive als auch negative Werte von  $R$  und  $G$ , beziehungsweise  $X$  und  $B$  mißt. Die Meßgenauigkeit im gesamten Frequenzbereich ist 1%. Die Ablesung erfolgt direkt, getrennt nach Wirk- und Blindkomponente, als Widerstand oder als Leitwert. Die Brücke ist zur Messung von geerdeten, erdfreien und symmetrischen Meßobjekten geeignet.

Aus der Reihe der zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten seien z. B. erwähnt die Messung der Übertrager-Parameter, der komplexen Impedanz von Vierpolen, der Impedanz von Batterien, der Leitfähigkeit von Flüssigkeiten usw. Zur Speisung der Brücke werden zusätzlich ein geeichter NF-Generator und ein Nullindikator benötigt.

### Szintillationszähler

Für Strahlungsmessungen hat die Durag Apparatebau GmbH., Hamburg, einen Szintillationszähler entwickelt, der einen NaJ-Kristall als strahlungsempfindliches Organ enthält. Speziell für die Messung von  $\gamma$ -Strahlen liegt der Vorteil dieses Zählers gegenüber Geiger-Müller-Zählrohren darin, daß die Ansprechwahrscheinlichkeit um mehrere Größenordnungen besser ist (nahezu 100% gegenüber etwa 2—3%). Der Durag-Szintillationszähler enthält zwei Fotomultiplier FS-9 A, auf deren Stirnseite der Kristall von 25 mm Durchmesser aufgekittet ist. Die Fotomultiplier beobachten gegenüberliegende Seiten des Kristalls; ihre Ausgangssignale werden in je einem zweistufigen Breitbandverstärker verstärkt und je einem Diskriminator zugeführt. Die Ausgangssignale der Diskriminatoren gelangen dann zu den beiden Eingängen einer Koinzidenzschaltung, deren Ausgangssignale wiederum dem Eingang des Strahlungsmeßgerätes „D-SMK 1“ zugeführt und dort zur Anzeige gebracht werden. Durch diese Anordnung erreicht man weitgehende Unterdrückung des thermischen Rauschens der Fotomultiplier, da wegen der statistischen Verteilung des Rauschens die Zahl der Zufallskoinzidenzen stark reduziert wird. Durch Vorgänge im Kristall aufgelöste Signale erfassen beide Fotomultiplier gleichzeitig und ergeben am Ausgang der Koinzidenzstufe ein Ausgangssignal. Das Arbeiten bei sehr geringen Intensitäten ist durch diese Anordnung sehr vereinfacht, weil es zum Herabsetzen des Rauschens nicht mehr notwendig ist, den Fotomultiplier zu kühlen.

### Elektronisches Schaltgerät

Für explosionsgefährdete Betriebe ist das elektronische Schaltgerät Typ „VTy“ der Funke & Huster Elektrizitätsgesellschaft mbH., Kettwig (Ruhr), bestimmt. Versuche bei der Berggewerkschaftlichen Versuchsstrecke in



Dortmund-Derne und bei der *Physikalisch-Technischen Bundesanstalt* in Braunschweig haben ergeben, daß wegen der sehr geringen Steuerleistung von nur 6 mW ein explosionsfähiges Gas-Luftgemisch nicht zündet. Das eigentliche Schaltelement ist ein Thyatron PL 21, dessen Gittersperrspannung (24 V) eine getrennte Wicklung des Netztransformators und ein Gleichrichter liefern. Durch Hochohmwiderstände wird auch für den Fall eines Elektrodenkurzschlusses im Thyatron die auftretende Maximalleistung auf 6 mW begrenzt. Im Anodenkreis der PL 21 liegt ein Schaltrelais, das weitere Schaltvorgänge auslösen kann.

Das Gerät ist in großer Zahl im Bergbau für die Steuerung von Sumpfpumpen eingesetzt und wird auch für Bunkerstandsanzeige von Rohkohle, Erz und Waschberge verwendet. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Steuerung von Förderbändern, Verriegelung von Motoren, Temperaturüberwachung über Thermoschalter. Alle Bauelemente sind übersichtlich auf einem Chassis angeordnet und in einem druckfesten, gekapselten Gehäuse untergebracht.

#### Neue Röhren

Die Doppeltriode CCa/E 88 CC (vgl. auch ELEKTRONISCHE RUNDSCHAU Bd. 9 [1955] Nr. 9, S. 334) wird auch von *Valvo* hergestellt. Sie erscheint als Röhre der „Gelben Serie“ und ist außer für HF- und ZF-Stufen auch für Antennenverstärker mit Kaskodeschaltung sowie für Multivibrator- und Katodenfolgestufen in Zählgeräten und elektronischen Rechenmaschinen besonders geeignet. Die Langlebensdaueröhre ist mit Spanngitter ausgerüstet.

Die auf der *Deutschen Industriemesse Hannover* im Muster gezeigte Röhre PL 323 ist jetzt lieferbar. Dieser *Valvo*-Typ stellt die Verbindung zwischen den Typen PL 17 und PL 57 her. Das neue Thyatron hat eine Füllung aus Edelgas und Quecksilberdampf.

#### Germaniumdiode EW 54

Die EW 54 der *General Electric Co. Ltd.*, London, ist eine *pn*-Germaniumdiode und vor allem für die Verwendung in Gleichrichterschaltungen für mittlere Spannungen und Ströme bestimmt. Das eigentliche Diodensystem ist in einem Gehäuse von etwa 38 mm Länge und 17 mm Durch-

messer luftdicht eingeschlossen. Die Belastbarkeit läßt sich durch zusätzliche Kühlung wesentlich erhöhen, wozu im einfachsten Fall aufgesetzte Kühlrippen aus Aluminium oder Messing genügen.

Der Anwendungsbereich liegt vorzugsweise im Bereich der Ströme bis 20 A bei Spannungen bis 50 V (Brückenschaltung). Für die technischen Daten seien hier zwei Werte genannt: bei einer Spannung von +0,5 V fließt ein Strom von 8 A, bei -100 V ein Strom von 6 mA. Bei einer Temperatur von 20°C und ohmscher Belastung sind ohne Kühlung Belastungen von 6,6 A bzw. 6,25 A für 10 V bzw. 50 V zulässig oder mit Kühlung von 23,8 A bei 10 V bzw. 22,6 A bei 50 V. Der Wirkungsgrad des Gleichrichters ist sehr hoch und beträgt 95% des theoretisch erreichbaren Maximalwertes.

#### Elektronisch stabilisierte Universal-Netzgeräte

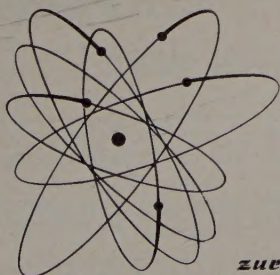
Für Labor und Prüffeld sind elektronisch stabilisierte Netzgeräte unentbehrliche Hilfsmittel geworden. Sie zeichnen sich durch weitgehende Unabhängigkeit von Netzspannungs- und Belastungsschwankungen aus und erlauben darüber hinaus eine meist stufenlose Regelung der abgegebenen Gleichspannung innerhalb weiter Grenzen. Das Lieferprogramm der Firma *Paul Herrmann*, Berlin-Wilmersdorf, umfaßt neben nichtstabilisierten Netzgeräten zwei Gruppen von stabilisierten Netzgeräten mit Glimmstabilisatoren und elektronischer Stabilisierung. Die elektronisch stabilisierten Gleichspannungen enthalten nur verschwindend geringe Brummanteile und können deshalb oft Batterien großer Kapazität ersetzen. Bei dem Typ „UN 1500/400“ ist beispielsweise die Spannung zwischen 20 und 1500 V bei einer maximalen Belastbarkeit von 400 mA regelbar. Die höchste Abweichung ist  $\pm 0,8\%$  der Maximalspannung.

#### Gleichrichterschaltungen und ihre Dimensionierung

Unter diesem Titel legt *BBC* eine neue Druckschrift vor, die wertvolle Hinweise für den Aufbau und die Dimensionierung von Gleichrichterschaltungen der verschiedensten Art gibt. Für die üblichen Ein- und Mehrphasenschaltungen sind bequem auswertbare Nomogramme und Tabellen enthalten, aus denen die Zusammenhänge auch für den Ungeübten rasch ersichtlich sind. Weiterhin erschien eine neue Tabelle über *Brown Boveri*-Röhren für industrielle Elektronik.



**Remington Rand**



**univac**

*elektronische Rechenanlage*

FÜR WISSENSCHAFT  
TECHNIK  
INDUSTRIE  
HANDEL  
VERWALTUNG

*zur raschen, genauen und fehlerfreien Beledigung aller Aufgaben*

REMINGTON RAND G. M. B. H. ABT. UNIVAC FRANKFURT/MAIN



MINITYP 100

MINILYT

EROD

AXIALER WIDERSTAND  
TYP RSX



ERNST ROEDERSTEIN SPEZIALFABRIK FÜR KONDENSATOREN GMBH LANDSHUT BAYERN  
RESISTA FABRIK ELEKTRISCHER WIDERSTÄNDE GMBH LANDSHUT BAYERN

## Der Elektronenstrahl- Oszillograf

AUFBAU · ARBEITSWEISE · MESSTECHNIK

von J. CZECH

Eine umfassende Darstellung des Elektronenstrahl-Oszillografen und der modernen Meßtechnik mit 685 Original-Oszillogrammen.

Eine Fülle von Hinweisen und Tips, die der Verfasser auf Grund seiner langjährigen Praxis geben kann, ermöglicht dem Leser auch die Lösung neuer und schwieriger Meßaufgaben.

Für Ingenieure und Techniker aller Industriezweige, für Wissenschaftler, Dozenten und Studierende ist dieses neue Fachbuch eine wertvolle Hilfe für die tägliche Arbeit.

356 Seiten · 394 Abbildungen und 685 Original-Oszillogramme · Ganzl. 22,50 DM

Zu beziehen durch jede Buchhandlung im In- und Ausland sowie durch den Verlag · Spezialprospekt auf Wunsch

**VERLAG FÜR RADIO-FOTO-KINOTECHNIK GMBH**  
BERLIN - BORSIGWALDE 212

## NEUERSCHEINUNG

### Schaltungsbuch der Industriellen Elektronik

von Dr. REINHARD KRETZMANN, Verfasser des bekannten  
HANDBUCHS DER INDUSTRIELLEN ELEKTRONIK

#### INHALT:

Schaltungen für Fotozellensteuerungen  
Zähl- und Recheneinrichtungen  
Temperatur-Regelgeräte  
Nachlaufsteuerungen  
Schweißzeitbegrenzer  
HF-, NF- und Ultraschall-Generatoren  
Metallsuchgeräte  
Motorsteuerungen  
Beleuchtungsregeleinrichtungen  
Gleichrichter  
u. v. a. m.

224 Seiten · 206 Abbildungen · Ganzleinen 17,50 DM

Zu beziehen durch jede Buchhandlung im In- und Ausland sowie durch den Verlag. Spezialprospekt auf Wunsch.

**VERLAG FÜR RADIO-FOTO-KINOTECHNIK GMBH**  
BERLIN - BORSIGWALDE 212

## Die größten französischen Fachzeitschriften...

**LA RADIO TÉLÉVISION  
ELECTRONIQUE  
PROFESSIONNELLE**

DIE TECHNISCHE  
UND WIRTSCHAFTLICHE  
MONATSSCHRIFT  
GEGRÜNDET 1932

DIE MONATLICHE  
FACHZEITUNG DER  
GESAMTEN  
ELEKTROTECHNIK

**LE MONITEUR**  
*professionnel*  
**de L'ELECTRICITE**

herausgegeben von:

**EDITIONS TECHNIQUES  
ET PROFESSIONNELLES**

G. DUFOUR

18 bis, VILLA HERRAN - PARIS (XVI<sup>e</sup>) - C.C.P. 699-67

Abonnements- und Anzeigenpreise bitte erfragen!